



Bachelorarbeit des Studiengangs

Augenoptik / Augenoptik und Hörakustik

Entwicklung eines Konzepts für eine Lernsoftware zur Refraktionsbestimmung

Zugelassene Abschlussarbeit des Studiengangs Augenoptik /
Augenoptik und Hörakustik zur Erlangung des akademischen
Grades Bachelor of Science

vorgelegt von: Sarah Klein

Matrikelnummer: 31803

Datum der Einreichung: 01.08.2014

Prüfer: Prof. Dr. Peter Baumbach

Zweitprüfer: Prof. Dr. Annemarie Buser

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorthesis selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine andere als die angegebene Literatur benutzt habe. Alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen wie auch die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anlehnenen Ausführungen meiner Arbeit sind besonders gekennzeichnet. Diese Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift

Danksagung

Zu Beginn möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die mir während meines ganzen Studiums und besonders während der Anfertigung der Abschlussarbeit unterstützend zur Seite standen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Baumbach für die gute Betreuung. Des Weiteren möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. Buser bedanken, die sich bereit erklärt hat, die Zweitbetreuung meiner Bachelorarbeit zu übernehmen.

Mein Dank gilt jedoch auch meinen Eltern, welche mich das ganze Studium hindurch unterstützt haben und somit ermöglicht haben, dass diese Arbeit entstanden ist.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung.....	II
Danksagung.....	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abstract.....	VII
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Ziele der Arbeit.....	1
2 Vorgehensweise	3
3 Recherche über bestehende Programme und wissenschaftliche Ausarbeitungen	5
3.1 Refraktions-Simulator Refsim7.....	5
3.2 Electric Optitian PE	7
3.3 Diplomarbeit „Computer Based Training in Refraktion für Ophthalmologen"	9
3.4 Zusammenfassung und Vergleich der Programme	9
4 Grundlagen	11
4.1 Visus	11
4.1.1 Psychometrische Funktion der Sehschärfe.....	12
4.2 Fehlsichtigkeiten.....	14
4.3 Akkommodation.....	17
4.4 Vorinformationen zur Refraktionsbestimmung	18
4.5 Refraktionsbestimmung.....	19
4.5.1 Bestimmung der Sehschärfe.....	20
4.5.2 Bestimmung des besten sphärischen Glases (BSG)	20
4.5.3 Prüfung auf Astigmatismus	22
4.5.4 Monokularer sphärischer Feinabgleich	30
4.5.5 Befragungstechnik	31

4.5.6	Fehler bei der Refraktionsbestimmung	33
4.6	Optotypen.....	34
4.7	Messbrille und Prüfgläser	36
4.8	Augenerkrankungen	36
4.9	Eigenschaften mit Auswirkungen auf das Probandenverhalten	38
4.10	Didaktik	38
5	Konzeption der Software	40
5.1	Diskussion bestehender Programme	40
5.1.1	Refraktions-Simulator.....	40
5.1.2	Bewertung des Electric Optician PE	40
5.1.3	Bewertung des Computer Based Training	41
5.1.4	Schlussfolgerungen für die Softwarekonzeption	42
5.2	Funktionen	42
5.2.1	Erzeugung realistischer Probanden	42
5.2.2	Auswahl der Refraktionsmethoden	49
5.2.3	Kommunikation mit dem Probanden	49
5.3	Didaktische Umsetzung.....	52
5.4	Bewertung	53
5.5	Gestaltung der Software-Oberflächen.....	56
5.5.1	Optionsfenster.....	58
5.5.2	Hilfemenü	59
5.5.3	Einschätzung des Probanden	60
5.5.4	Bewertungsfenster	61
5.6	Berechnungen und Messungen im Hintergrund	62
5.6.1	Berechnung der aktuellen Korrektur	62
5.6.2	Berechnung des Visus	65
5.6.3	Berechnung der erkannten Sehzeichen	67
5.6.4	Berechnung der Probandenantwort	68

5.6.5	Berechnung der Vorinformationen	70
5.6.6	Weitere Messungen und Berechnungen im Hintergrund.....	71
6	Diskussion	73
7	Ausblick	76
8	Literaturverzeichnis	80
9	Abbildungsverzeichnis	83
10	Tabellenverzeichnis	84
11	Anhang.....	86
11.1	Sinnbilder und ihre Anwendung (aus DIN 66001)	86
11.2	Abbildung der Fenster mit Bezeichnung der Elemente	87
11.3	Liste aller Oberflächenelemente der Software	90
11.4	Flussdiagramme zum Programmablauf.....	94

Abstract

Das Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung eines Konzepts für eine Software zum Erlernen der Refraktionsbestimmung, welches die Erweiterung um zusätzliche Refraktionsschritte und Refraktionsmethoden sowie eine Umsetzung der Programmierung ohne augenoptische Kenntnisse ermöglicht. Die Programmgestaltung soll in Oberfläche, Funktionsumfang und Probandeneigenschaften der realistischen Refraktionsbestimmung näher kommen als die bisher verfügbaren Refraktions-Simulationsprogramme „Refsim7“ und „Electric Optician PE“.

Das Konzept umfasst die monokulare Refraktion für die Ferne mit den Methoden Kreuzzylindermethode und Zylindernebelmethode für die Bestimmung des Astigmatismus und Rot-Grün-Test und Sukzessiv-Abgleich als Methoden für den monokularen sphärischen Feinabgleich. Des Weiteren umfasst es die Umsetzung vier verschiedener Eigenschaften des Probanden, die sich auf die Kommunikation auswirken: normales Verhalten, kann sich nicht entscheiden, verwechselt rechts und links und hört schlecht. Ebenso werden in dem Konzept die Aspekte Augenerkrankungen und Hornhautscheitelabstand berücksichtigt. Dazu gibt es fünf verschiedene Auffälligkeiten des Probanden, die auf den Erkrankungszustand des Auges, auf das Erkrankungsrisiko oder auf die Berücksichtigung des HSA schließen lassen. Diese sind starke Refraktionsänderung über einen kurzen Zeitraum, ein optisch nicht korrigierbares Problem, ein geringer Visus, ein höheres Probandenalter und eine höhere Fehlsichtigkeit.

Die Vorgehensweise für die Arbeit ist wie folgt strukturiert. Zunächst wird eine Recherche über bestehende Programme zum Erlernen der Refraktion durchgeführt. Anschließend erfolgt die Erarbeitung von Grundlagen zur Refraktionsbestimmung und anderen Aspekten der Refraktion. Abschließend wird das Konzept aus der Recherche und den Grundlagen erarbeitet.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Motivation für dieses Bachelorarbeitsthema ist die Tatsache, dass Augenoptik-Studenten einen Partner bzw. verschiedene Partner benötigen, um das Refraktionieren zu üben. Da das Refraktionsdefizit des Partners nach der Refraktion bekannt ist, wird für das weitere Üben ein simuliertes Refraktionsdefizit oder ein neuer Übungspartner notwendig. Eine Software zum Üben des Refraktionierens bietet Augenoptik-Studenten somit mehr Flexibilität durch die Unabhängigkeit von der Verfügbarkeit von Übungspartnern. Des Weiteren können mit der Übungssoftware auch Probanden simuliert werden, die nicht, wie die meisten Übungspartner aus der Studentenschaft, rechtsichtig oder nur leicht fehlsichtig sind, sondern verschiedene Eigenschaften aufweisen, die zu erschwerten Bedingungen bei der Refraktion führen. Zusätzlich kann mit einer Software die Dauer der Refraktion gemessen werden und die durchgeführten Glaswechsel gezählt werden, so dass Übende bzw. Benutzer ihre Lernfortschritte einschätzen können. Eine Rangliste über die Geschwindigkeit der Refraktion oder andere Bewertungskriterien ermöglicht einen Wettbewerb unter den Studenten und damit idealer Weise eine Steigerung ihres Lernanreizes. Des Weiteren fördert ein detailliertes Fehlerprotokoll die Möglichkeit, den eigenen Refraktionsablauf gezielt zu verbessern.

1.2 Ziele der Arbeit

Auf dem freien Markt sind bereits zwei Programme verfügbar, mit denen der Refraktionsablauf geübt werden kann. Diese Programme beinhalten jedoch weder die Möglichkeit in Wettbewerb miteinander zu treten, noch ein detailliertes Feedback zu erhalten, das über eine bloße Zeitmessung hinaus geht. Außerdem wurde die Berücksichtigung von Augenerkrankungen und anderen Besonderheiten - und damit verknüpft Denken - bisher vernachlässigt.

In dieser Arbeit soll die Grundlage für eine Software geschaffen werden, die die sinnvollen Funktionen der beiden bestehenden Programme mit neuen Funktionen verbindet und optisch ansprechender gestaltet ist als die bisherigen Programme. Des Weiteren ist es das Ziel, das Konzept für die Software so zu dokumentieren, dass

zum einen die Programmierung von einer fachfremden Person umgesetzt werden kann und zum anderen eine Weiterentwicklung der Software zu einem späteren Zeitpunkt möglich ist.

Am Ende des gesamten Prozesses soll ein Konzept für eine umfangreiche Software mit ansprechendem Design entstehen, die eventuell zu einem Simulationskopf erweiterbar ist, der Sensoren enthält, die einen echten Seheindruck des virtuellen Probanden, nach den aktuell vorgeschalteten Refraktionsgläsern, ermittelt. So könnte neben dem theoretischen auch der praktische Umgang mit Messbrille und Refraktionsgläsern geübt werden.

2 Vorgehensweise

In diesem Kapitel wird das Vorgehen bei dieser Arbeit erläutert. Die einzelnen Schritte der Vorgehensweise sind in Abb. 1 dargestellt.

An erster Stelle steht eine Recherche über bereits existierende Programme, mit denen das Refraktionieren geübt werden kann und bestehende wissenschaftliche Ausarbeitungen zu dem Thema Lernsoftware zur Refraktionsbestimmung. Im Anschluss daran werden diese Programme vergleichend gegenübergestellt.

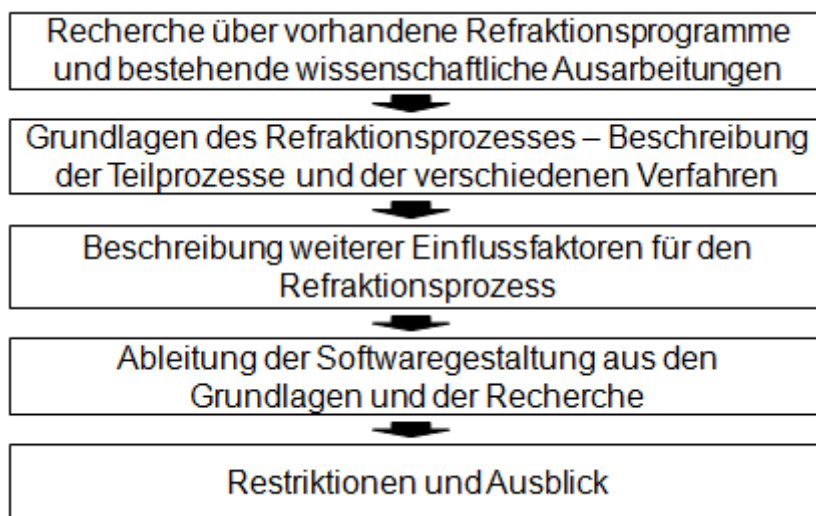


Abb. 1 Einzelne Schritte der Vorgehensweise

Der nächste Schritt ist die Beschreibung verschiedener Methoden zur Refraktionsbestimmung, bezogen auf die einzelnen Schritte eines Refraktionsprozesses. Des Weiteren werden Faktoren, die für den Refraktionsablauf wichtig sind, beschrieben. Dazu gehören die Eigenschaften des Probanden, Grundlagen zu den Sehzeichen, zur Didaktik und mathematischen Zusammenhängen in der Optik.

Im nächsten Schritt werden dann aus den Grundlagen die Inhalte, Funktionen und Gestaltungsoptionen für das Konzept der neuen Software abgeleitet. Hierbei werden auch die Qualität der bestehenden Programme und die Eignung von Eigenschaften der bestehenden Programme für das Software-Konzept diskutiert.

Zum Schluss werden Restriktionen, weiterer Arbeitsbedarf und der Ausblick auf die Weiterführung der Thematik beleuchtet.

Des weiteren ist für die Umsetzung anzumerken, dass eine einheitliche, übersichtliche, vollständige und strukturierte Dokumentation notwendig ist, um das Konzept für die Lernsoftware, wie in 1.2 erläutert, erweitern zu können und die Programmierung zu ermöglichen. Dazu werden Flussdiagramme für den Programmablauf nach der DIN-Norm für Sinnbilder und ihre Anwendung (DIN 1983) erstellt. Die Abbildung der verwendeten Symbole befindet sich im Anhang (siehe 11.1). Erstellt werden die Diagramme mit dem kostenlos im Internet erhältlichen Programm Dia. (Free Software Foundation 2011)

Außerdem sind alle einzelnen Anzeigefelder, Buttons und Dropdownauswahllisten der einzelnen Fenster mit Kurzbezeichnung in einer Liste aufgeführt (siehe Anhang 11.3). Um diese dem entsprechenden Element auf der Benutzeroberfläche zuordnen zu können, sind alle Elemente in den Storyboards der Oberflächen mit der entsprechenden Kurzbezeichnung beschriftet (siehe Abb. 14 - Abb. 18).

3 Recherche über bestehende Programme und wissenschaftliche Ausarbeitungen

Es gibt bereits zwei Programme zum Erlernen des Refraktionierens, die über das Internet verfügbar sind. Zum einen den käuflich erwerbbaaren Refraktions-Simulator Refsim7, der von einem Schweizer Lehrer für Augenoptik entwickelt wurde und das im Internet kostenlos verfügbare Programm Electric Optician PE. Diese Programme sollen im Folgenden beschrieben und miteinander verglichen werden, so dass resultierend sinnvolle und gut umgesetzte Funktionen in dem Konzept für die neue Software berücksichtigt werden und mit neuen Ideen und Verbesserungen kombiniert werden können.

3.1 Refraktions-Simulator Refsim7

Der Refraktions-Simulator Refsim7 wurde von Guido Fellner entwickelt und im Laufe der Zeit überarbeitet. Es ist ein käuflich zu erwerbendes Programm. In dieser Arbeit wird die neueste Version von 2012 analysiert.

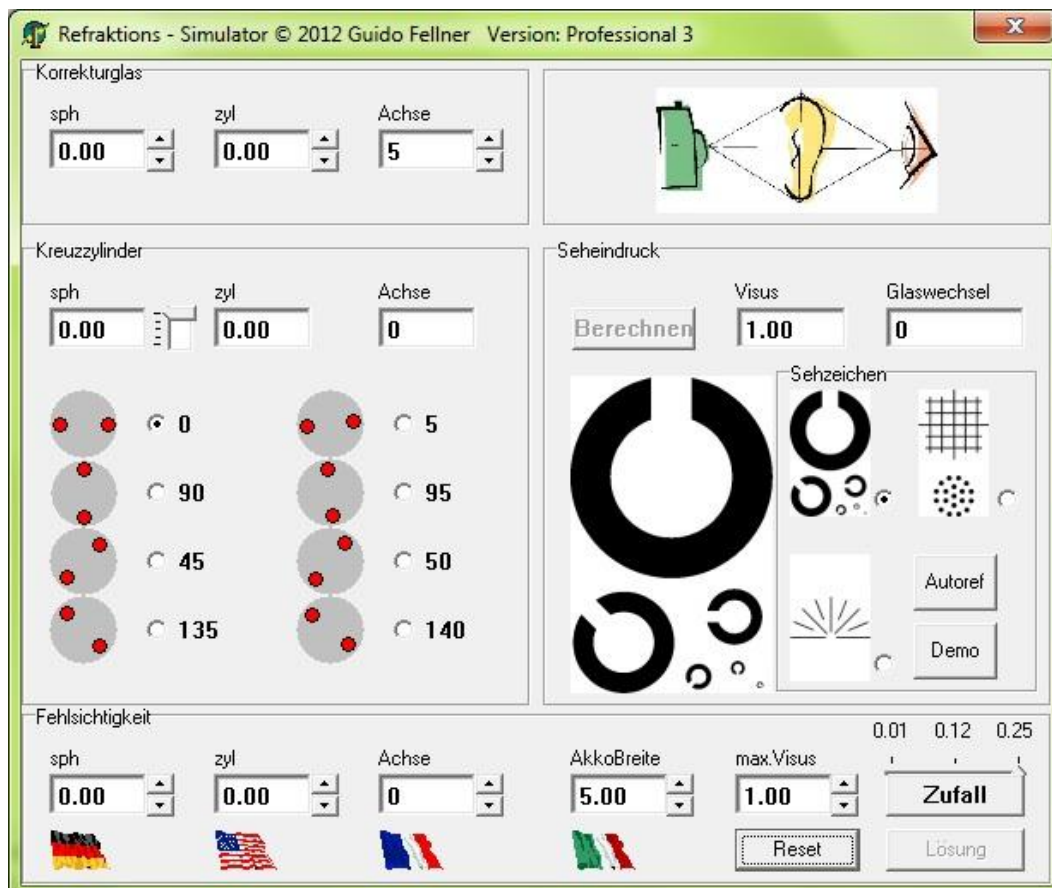


Abb. 2 Programmoberfläche Refsim7 (Fellner 2012)

Das Programm besteht aus nur einer Fensteroberfläche, auf der stets alle Einstellungen und Aktionen sichtbar sind. Es bietet dem Benutzer als Sehzeichen den Landolt-Ring, Strich- und Punktfigur und die Strichfigur für die Zylindernebelmethode zur Wahl an. Weitere Wahlmöglichkeiten hat der Benutzer bei der Genauigkeit der Fehlsichtigkeit (0,01 dpt, 0,12 dpt oder 0,25 dpt Abstufung wählbar) und bei der Sprache (deutsch, englisch, französisch und spanisch wählbar). Sind die drei Einstellungen getroffen, fehlt nur noch ein Klick auf den Knopf „Zufall“, der dafür sorgt, dass das Programm ein zufälliges Refraktionsdefizit des virtuellen Probanden erstellt, das jedoch nicht offen angezeigt wird.

Die festgelegten Werte sind Sphäre, Zylinder, Zylinderachse, Akkomodationsbreite und maximaler Visus. Zum Ermitteln dieser Werte, das heißt zur Durchführung der Refraktion, stehen dem Benutzer eine Eingabezeile für das aktuelle Korrekturglas (Sphäre, Zylinder und Achse) in der Brille und eine Eingabezeile für den aktuell vorgeschalteten Kreuzzylinder (Sphäre, Zylinder, Achse) zur Verfügung. Die Werte des Korrekturglases lassen sich per Pfeiltasten einstellen. Der Wertebereich erstreckt sich von +20,00 dpt bis -20,00 dpt mit 0,00 bis -6,50 dpt Zylinder, jeweils in 0,25 dpt Schritten. Die Stärke des Kreuzzylinders lässt sich über einen Schieberegler einstellen ($\pm 0,25$ dpt, $\pm 0,50$ dpt und $\pm 1,00$ dpt). Die Achslagen 0° , 45° , 90° , und 135° , sowie die Achslagen für Achs- und Stärkenabgleich, für das aktuell vorgeschaltete Korrekturglas, lassen sich direkt durch anklicken wählen.

Anstatt einer Antwort des Probanden bekommt der Prüfer in dem Programm den Seheindruck (je nach ausgewähltem Sehzeichen) und den errechneten Visus des virtuellen Probanden angezeigt, sobald er auf den Knopf „Berechnen“ klickt. Die Anzahl der Klicks auf Berechnen wird mitgezählt und im Fenster „Glaswechsel“ angezeigt. Durch einen Klick auf den Knopf „Autoref“ erhält man die groben Korrekturwerte des Probanden; die Anzahl der Glaswechsel erhöht sich damit jedoch automatisch um 100. Mit einem Klick auf den Knopf „Lösung“ kann sich der Benutzer die vom Programm festgelegte Fehlsichtigkeit anzeigen lassen, um sie mit seinem ermittelten Korrekturglas zu vergleichen. Die ermittelte Akkomodationsbreite muss man sich selbst merken, um sie mit der Lösung vergleichen zu können, da das Programm die ermittelten Werte nicht anzeigt. Ein Klick auf den Knopf „Reset“ führt zur Ermittlung einer neuen Fehlsichtigkeit und zum Zurücksetzen der Anzahl der Glaswechsel auf null.

3.2 Electric Optician PE

Das Programm „Electric Optician PE“ wurde 2005 von Dr. Tobias Breitenstein entwickelt und kann kostenlos im Internet aufgerufen werden. Alternativ ist es möglich, das Programm als html-Datei zu speichern und dann offline zu nutzen.

Electric Optician PE © 2005 Dr. T. Breitenstein

Eigenschaften des Auges als RD ?

sph cyl A * ΔA_{max} Vcc Zufallswerte aufdecken/verdecken Werte löschen Hilfe

Korrektionswerte in Messbrille oder Phoropter ?

sph \wedge V cyl \wedge V A * \wedge V $+10^\circ$ / -10° ☐ Lochblende (1 mm)

Vorhalteglas ?

sph \wedge V cyl \wedge V A * \wedge V S Einbauen

Kreuzzylinder ☒ kein ☐ +/- 0,5 ☐ +/- 0,25 Achse ☒ 0° ☐ 90° ☐ 45° ☐ 135° ☐ S || A ☐ A || A ☐ A X A ?

Visusstufe \wedge V Visus überprüfen Sehzeichen E A Z P A Strahlenfigur ein/aus ?

☐ Glas vorhalten - Frage: "Wird der Seheindruck mit diesem Glas besser?"

☒ Glas vorhalten - Frage: "Wird der Seheindruck mit diesem Glas schlechter?"

☐ Glas wegziehen - Frage: "Wird der Seheindruck so wieder besser?"

☐ Wenden des Kreuzzylinders - Frage: "Ist Seheindruck 1 besser als 2 oder sind beide gleich?"

☐ Frage: "Erscheinen einige Striche schwärzer?"

☐ Frage: "Sind die best gesehenen Striche noch getrennt wahrnehmbar?"

☐ Glas vorhalten - Frage: "Werden die best gesehenen Striche so deutlicher?"

☐ An Korrektionsachse drehen und Kunden sagen lassen, wann der beste Seheindruck erreicht ist

Kundenantwort Sie haben pro Schritt 30.3 s gebraucht. Die Differenzen sph=-0.03 cyl=-0.03 A=2 ?

Programmsteuerung ?

Maximalwerte: sph +/- cyl +/-

Abb. 3 Programmoberfläche Electric Optician PE (Breitenstein 2005)

Das Programm besteht aus einer größenverstellbaren Oberfläche, auf der sich alle Bedienelemente befinden.

In der obersten Zeile erscheinen die optischen Eigenschaften des virtuellen Probanden, die durch einen Klick auf „Zufallswerte“ generiert werden. Die Werte Sphäre, Zylinder, Akkomodationsbreite und maximaler Visus werden in 0,01 dpt Schritten generiert, die Zylinderachse in 1° Schritten. Die Maximalwerte des Refraktionsdefizites für Sphäre und Zylinder können in der untersten Zeile angezeigt werden. Über den Button „aufdecken/verdecken“ kann der Benutzer wählen, ob die Werte angezeigt oder verdeckt werden.

In der zweiten Zeile befinden sich Eingabefelder für Sphäre, Zylinder und Zylinderachse des sich aktuell in der virtuellen Messbrille bzw. Phoropter befindenden Korrektionsglases. Es ist zusätzlich möglich, das Vorschalten einer Lochblende (\varnothing 1 mm) zu simulieren.

In der dritten Zeile befinden sich die Eingabefelder für das Vorhalteglas (Sphäre, Zylinder, Zylinderachse), mit der Option („Einbauen“), die eingestellten Werte in die Messbrille bzw. Phoropter zu übernehmen. Für den Kreuzzylinder gibt es wahlweise die Optionen „kein“, „ $\pm 0,25$ dpt“ und „ $\pm 0,50$ dpt“, sowie die Achslagen 0° , 90° , 45° , 135° , Stiel auf Achse, Achse auf Achse und Achse senkrecht zur Achse. Des Weiteren gibt es darunter ein Feld, um die Sehzeichengröße einzustellen, einen Button „Visus überprüfen“ und eine Darstellung der dargebotenen Sehzeichen (wahlweise 5 Buchstaben oder eine Strahlenfigur).

Dem Benutzer werden folgende acht Fragestellungen in Kombination mit der Darbietungsweise des Vorhalteglases angeboten:

- „Glas vorhalten - Frage: ‚Wird der Seheindruck mit diesem Glas besser?‘
- Glas vorhalten - Frage: ‚Wird der Seheindruck mit diesem Glas schlechter?‘
- Glas wegziehen - Frage: ‚Wird der Seheindruck so wieder besser?‘
- Wenden des Kreuzzylinders - Frage: ‚Ist Seheindruck 1 besser als 2 oder sind beide gleich?‘
- Frage: ‚Erscheinen einige Striche schwärzer?‘
- Frage: ‚Sind die best gesehenen Striche noch getrennt wahrnehmbar?‘
- Glas vorhalten - Frage: ‚Werden die best gesehenen Striche so deutlicher?‘
- An Korrektionsachse drehen und Kunden sagen lassen, wann der beste Seheindruck erreicht ist“ (Breitenstein 2005)

Die Antwort des Probanden wird in einem Textfeld ausgegeben. Dort erscheinen nicht nur die Antworten auf eine der acht Fragen, sondern auch die von dem virtuellen Probanden erkannten Buchstaben beim Klick auf den Button „Visus überprüfen“, sowie sonstige Äußerungen

Zu jedem Eingabefeld oder Button gibt es eine Hilfoption.

3.3 Diplomarbeit „Computer Based Training in Refraktion für Ophthalmologen“

2004 entstand eine Diplomarbeit mit dem Titel „Computer Based Training in Refraktion für Ophthalmologen“ (Hitzke 2004). Das Ziel dieser Arbeit war es, eine Lernsoftware für die Durchführung von Refraktionen für die Schulung von Assistenzärzten in der Augenheilkunde zu entwickeln. Lerninhalte zu Refraktionstechniken und Hintergrundwissen (z.B. zum Prinzip des Kreuzzylinders und zur Lichtbrechung) sollten über verschiedene Medien (z. B. Text, Bild, Video) bereitgestellt werden. Im Rahmen der Arbeit konnte eine erste Testversion erstellt werden, bis zum jetzigen Zeitpunkt ist daraus jedoch keine frei verfügbare Software entstanden.

Das Augenmerk liegt nur zum Teil auf der Anwendung von Refraktionstechniken. Weitere Themenfelder der Arbeit sind die Aufbereitung von Hintergrundwissen zu Optik, Anatomie und Physiologie des Auges, die didaktische Aufbereitung der Lerninhalte und die Gestaltung der Oberflächen.

In Hitzkes Arbeit wird die Storybord-Methode verwendet, um die Benutzeroberflächen zu visualisieren. Bei dieser Methode wird mit einem Bildbearbeitungsprogramm eine Benutzeroberfläche erstellt, die zur Verständigung der verschiedenen Parteien dient, die an dem Erstellungsprozess beteiligt sind (z. B. Autoren, Programmierer). (Hitzke 2004)

3.4 Zusammenfassung und Vergleich der Programme

In Tab. 1 sind die Eigenschaften des Refsim7 und des Electric Optician dargestellt. Die Diplomarbeit von Hitzke (2004) findet in dieser Tabelle keine Berücksichtigung, da in der Diplomarbeit keine detaillierten Angaben zu den in der Tabelle zusammengestellten Eigenschaften zu finden sind und das Programm, wie unter 3.3 nachzulesen ist, einen anderen Schwerpunkt hat.

Tab. 1 Vergleich zwischen Refsim7 und Electric Optitian

Eigenschaften	Refsim7	Electric Optitian
Wertebereiche RD bzw. Korrektur [dpt]	+20,00 bis -20,00 dpt	unbegrenzt
Wertebereich Minuszylinder [dpt]	-0,00 bis -6,5 dpt	unbegrenzt
Stufung Refraktionsdefizit [dpt]	0,01/0,12/0,25 wahlweise	0,01
Kreuzzylinder [dpt]	$\pm 0,25, \pm 0,50, \pm 1,00$	$\pm 0,25, \pm 0,50$
Lochblende	nein	ja
Kreuzzylindermethode	ja	ja
Zylindernebelmethode	ja	ja
Hilfemenü	nein	ja
Darstellung der Optotypen	ja	nein
Ausgabe der Probandenantwort	nein	ja
Handhabung (Vergleich)	-	+
Zeitmessung	nein	ja
Zählen der Glaswechsel	ja	ja
Bewertung Nahglasbestimmung	nein	nein

Beide Programme sind, auf die Ausführung und den Funktionsumfang bezogen, noch verbesserungsfähig. Zum Einen bieten beide Programme nur die Möglichkeit der monokularen Refraktion. Der Binokularabgleich ist im Funktionsumfang nicht enthalten. Zum Anderen ist die Funktion der Nahglasbestimmung nur ansatzweise umgesetzt. Die Ermittlung der Akkommodationsbreite ist mit Refsim7 durchführbar, jedoch fehlt die Funktion, die Optotypen für die Nahglasbestimmung anzupassen. Und die ermittelten Werte lassen sich nicht so speichern und überprüfen, wie es bei den ermittelten Werten für die Ferne der Fall ist. In dem Programm Electric Optitian findet die Nahglasbestimmung keinerlei Berücksichtigung. Visuell sind beide Programme nicht besonders ansprechend oder realitätsnah gestaltet. Refsim7 ist dabei noch etwas anschaulicher, da es abgebildete Optotypen und schematische Kreuzzylinder gibt. Das Anzeigen von Optotypen aus der Sicht des Probanden entspricht aber nicht der Realität, da der Proband den Seheindruck in der Realität zwar wörtlich beschreibt, dem Prüfer aber keinesfalls eine bildliche Darstellung vorliegt.

4 Grundlagen

In diesem Kapitel soll eine Einführung in die Grundlagen der Refraktionsbestimmung und die relevanten das Sehvermögen verringernden Aspekte gegeben werden. In Abschnitt 5 werden die daraus folgenden Schlüsse für das Konzept der Lernsoftware gezogen.

4.1 Visus

Der maximal erreichbare Visus ist ein Visus von 2,5 (Seiler u.a. 2003). Der schlechteste Visus ist theoretisch ein Visus von 0 bei Personen, die nichts mehr sehen. Durch die logarithmische Skalierung der Visusstufen gibt es aber keine Visusstufe 0. Da Personen mit einem normalen Gesichtsfeld bei einem geringeren Visus als 0,02 als blind eingestuft werden¹ und in diesem Fall eine normale Refraktion in 4 m Entfernung² nicht mehr möglich ist, wird ein Visus von 0,02 als minimaler Visus betrachtet.

Des Weiteren ist die relative Sehschärfe altersabhängig. Mit der Alterung des Auges nimmt die Sehschärfe im Laufe des Lebens ab. Wie in Tab. 2 zu sehen, kann die Sehschärfe bei über 70-jährigen auf 50 % der maximalen Sehschärfe absinken.

Tab. 2 Abhängigkeit der relativen Sehschärfe vom Alter (Methling 2013)

Altersgruppe [Jahre]	relative Sehschärfe [%]
18 - 38	100 - 90 %
39 - 45	90 - 85 %
46 - 70	85 - 60 %
> 70	60 - 50 %

Ausgehend von einem maximal erreichbaren Visus von 2,5 in der Gesamtbevölkerung ist der maximale Visus je nach Altersgruppe geringer (siehe Tab. 2). Daraus errechnen sich die Wertebereiche für den absoluten Visus in den verschiedenen Altersgruppen, die in folgender Tabelle zu sehen sind.

¹ Laut Bundessozialhilfegesetz Augenoptikerverband NRW 2009

² Die Prüferentfernung für die Sehschärfestimmung beträgt 4 m (DIN 2013).

Tab. 3 Altersbedingt reduzierte maximale Sehschärfe (nach Methling)

Altersgruppe [Jahre]	maximal erreichbarer Vi- sus	Wertebereiche für den ab- soluten Visus
18 - 38	2,50	0,02 - 2,5
39 - 45	2,25	0,02 - 1,8
46 - 70	2,13	0,02 - 1,7
> 70	1,50	0,02 - 1,2

Um einen Unterschied zwischen den Optotypen verschiedener Visuswerte wahrnehmen zu können, müssen diese logarithmisch abgestuft sein, da die differentielle Wahrnehmbarkeitsschwelle logarithmisch ist (Weber-Fechner-Gesetz). In der Regel ist dies bei Sehzeichenprojektoren und Sehzeichentafeln der Fall. Bei der Sehschärfenbestimmung wird dann die nächste niedrigere Visusstufe als bestandene Visusstufe ermittelt, da die wirkliche Sehschärfe auch zwischen diesen abgestuften Werten liegen kann.

Da 60% der Optotypen einer Visusstufe erkannt werden müssen, damit die Visusstufe als bestanden gilt, wird ein Proband in der jeweiligen Visusstufe im Mittel drei von fünf dargebotenen Sehzeichen richtig benennen. Die Zusammenhänge sollen am folgenden Beispiel verdeutlicht werden: Die dargebotene Visusstufe ist 1,25. Wenn der Visus des Probanden höher ist, aber niedriger als die nächste Visusstufe (1,6), also bspw. 1,5, so wird er im Mittel mehr als drei der fünf Sehzeichen erkennen, eventuell auch Sehzeichen der Visusstufe 1,6, allerdings im Mittel weniger als 60%. Der Zusammenhang zwischen Erkennungsrate und dargebotener Optotypengröße ist in der psychometrischen Funktion der Sehschärfe dargestellt und wird im folgenden Unterpunkt näher erläutert.

4.1.1 Psychometrische Funktion der Sehschärfe

Durch eine sehr häufige Darbietung von Optotypenreihen verschiedener Visusstufen und der Auswertung der korrekt benannten Optotypen erhält man die psychometrische Messfunktion. Diese ist jedoch für jeden tatsächlichen Visus etwas unterschiedlich. In der folgenden Abbildung (Abb. 4) ist die psychometrische Funktion für den Visus 1,6 dargestellt.

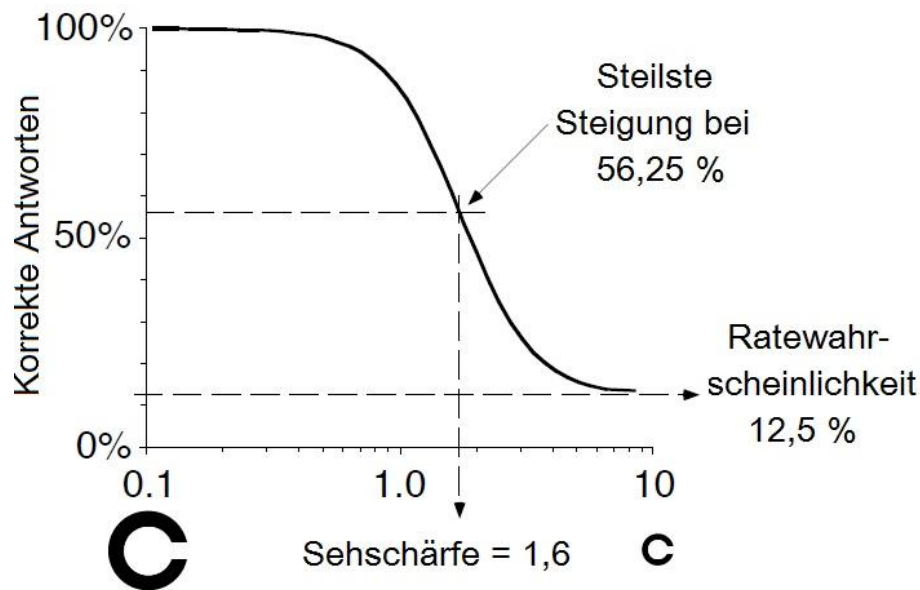


Abb. 4 Psychometrische Funktion der Sehschärfe (Bach 1996)

Auf der Ordinate sind die korrekten Antworten abgetragen. Auf der logarithmisch gestuften Abszisse ist die Optotypengröße der dargebotenen Optotypen aufgetragen. Das Maximum der s-förmigen Kurve liegt bei annähernd 100 % erkannten Sehzeichen bei den größten Optotypen für die kleinste Visusanforderung (Visusstufe 0,1). Die steilste Steigung der Funktion liegt bei 56,25 % korrekt benannten Sehzeichen³. Das Minimum hat die Kurve bei der Ratewahrscheinlichkeit. Diese ist abhängig von der Anzahl der Darbietungsmöglichkeiten einer Optotypenart. Die Ratewahrscheinlichkeit ist der Kehrwert der Darbietungsmöglichkeiten.

Die psychometrische Messfunktion, das heißt die Abhängigkeit zwischen erkannten Sehzeichen und der Optotypengröße bzw. Visusstufe, ist in Formel 1 dargestellt. Für die Steigung hat sich dabei der Wert 10 als am besten geeignet erwiesen. Für die Sehschärfe am Wendepunkt v_0 muss der tatsächliche Visus des Probanden eingesetzt werden und für v die Visusstufe der dargebotenen Sehzeichen, um die Ratewahrscheinlichkeit zu erhalten. (Bach 1996)

$$P_{v_0}(v) = 0,125 + \frac{1-0,125}{1+(\frac{v_0}{v})^s} \quad (1)$$

v_0 *threshold acuity (Sehschärfe am Wendepunkt)*
 s *slope (Steigung)*

³ Dies ist der Grund für die Festlegung, dass etwa 60 % einer Optotypenreihe erkannt werden müssen, damit die Visusstufe als bestanden gilt (siehe 0.).

4.2 Fehlsichtigkeiten

Der Berufsverband für Augenärzte hat statistische Daten zur Häufigkeit verschiedener Fehlsichtigkeiten in Deutschland veröffentlicht. Danach haben 63,4 % der Deutschen (über 16 Jahre) eine Fehlsichtigkeit. Etwa 25 % der Bevölkerung ist myop. Die Häufigkeit einer Hyperopie liegt bei 35 % bei den unter 60-jährigen, wobei es in der Altersgruppe der unter 40-jährigen vermutlich eine hohe Anzahl nicht bemerkter Hyperopien gibt. Eine astigmatische Fehlsichtigkeit weisen 20 % aller Myopen und Hyperopen auf. Im höheren Alter ist die Presbyopie mit 95 % die häufigste Fehlsichtigkeit. (Berufsverband der Augenärzte 2014)

Sofern eine Fehlsichtigkeit nicht durch Akkommodation ausgeglichen werden kann, führt sie dazu, dass die maximale Sehschärfe ohne Korrektur oder mit unzureichender Korrektur nicht erreicht werden kann. Die Berechnung der relativen Sehschärfe je nach Fehlsichtigkeit ist näherungsweise mit den Formeln 2 und 3 möglich. (Krause 1985)

$$Vis = \frac{Vis_{max}}{2^{2 \cdot |s|}} \quad (2)$$

$$Vis = \frac{Vis_{max}}{2^{|z|}} \quad (3)$$

s Sphäre
z Zylinder

Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Hyperopen die Hyperopie größer sein muss als der maximale Akkommodationserfolg, da die Akkommodation zur Kompensation der Hyperopie genutzt werden kann. (Krause 1985)

Der genaue Zusammenhang zwischen (erzeugter) Myopie und Visusabfall wird durch Formeln beschrieben, die das Ergebnis einer Erhebung von J. Wederz (2006) sind, in der myopen Probanden sphärische (Formel 4) und zylindrische Plusgläser sowie eine Kombination aus beiden (Formel 7) vorgeschaltet wurden. Ähnliche Studien wurden zuvor schon unter anderem von E. Hartmann durchgeführt (Hartmann 1988). Da sich astigmatische Fehlsichtigkeiten je nach Achslage unterschiedlich stark auf den Visus auswirken, gibt es verschiedene Formeln für den Visusabfall durch zylindrische Plusgläser in 0° (Formel 5) und 45° (Formel 6).

$$v = -4,1206x + 1,3364 \quad (4)$$

$$v = -1,9748y + 1,0722 \quad (5)$$

$$v = -2,853y + 1,1157 \quad (6)$$

x *Sphärisches Plusglas in dpt*
 y *Zylinderglas in dpt*
 v *Visusstufe*

Für die Kombination von sphärischen Plusgläsern mit zylindrischen Plusgläsern ergibt sich folgende Formel (Formel 7), in welche je nach gerader ($0^\circ \pm 15^\circ$ und $90^\circ \pm 15^\circ$) oder schiefer Achslage ($45^\circ \pm 30^\circ$ und $135^\circ \pm 30^\circ$) andere Werte eingesetzt werden.

$$z = a + bx + cy + dx^2 + ey^2 + fxy \quad (7)$$

x *Sphäre in dpt*
 y *Zylinderglas in dpt*
 z *Visusstufe*

Für die Kombination mit zylindrischen Plusgläsern mit Achse in 0° werden folgende Werte für a-f eingesetzt:

$a = 1,5060604$; $b = -4,1000348$; $c = -2,5896344$; $d = -0,019156613$;
 $e = 0,22091813$; $f = 0,56852334$

Für die Kombination mit zylindrischen Plusgläsern mit Achse in 45° werden folgende Werte für a-f eingesetzt:

$a = 1,2296347$; $b = -3,8654893$; $c = -3,2025778$; $d = -0,14608587$;
 $e = 0,14012558$; $f = 0,93092473$

Für die Abweichung der Zylinderachse gilt es die bekannte Näherung dass ein Achsenfehler von 3° einen Zylinderfehler von etwa 10 % ergibt. (Friedburg & Krause 2002b)

Um die Restfehlsichtigkeit während des Refraktionsprozesses zu ermitteln, muss die ursprüngliche Fehlsichtigkeit des Probanden (das Refraktionsdefizit) mit den aktuell vorgeschalteten Gläsern und evtl. vorgeschaltetem Kreuzzylinder verrechnet werden. Hierzu ist die Methode der Power Vektoren sehr gut geeignet. Bei dieser Methode

wird jedes Glas (oder Refraktionsdefizit) durch das sphärische Äquivalent und seine astigmatischen Anteile in 0° und 45° zerlegt. Auch rein sphärische Gläser (oder Refraktionsdefizite) können so zerlegt werden - die Anteile in 0° und 45° sind in dem Fall dann gleich groß. Ebenso wird ein vorgeschalteter Kreuzzylinder als sphäro-zylindrische Kombination betrachtet und mit berechnet. Die Anteile der zwei Achslagen aller Gläser (und des Refraktionsdefizites) können nun jeweils simpel miteinander addiert werden und anschließend wieder zu einer sphäro-zylindrischen Kombination (dem resultierenden Refraktionsdefizit) zusammengesetzt werden, da keine Achsangabe mehr notwendig ist. (Wesemann 2005)

Um die sphäro-zylindrische Kombination eines Glases in Power Vektoren umzurechnen, werden die Formeln 8, 9 und 10 benötigt. Die Berechnung der sphäro-zylindrischen Kombination aus den Power Vektoren erfolgt mit den Formeln 11, 12 und 13. (Harvey u.a. 2000)

$$M = s + \left(\frac{c}{2}\right) \quad (8)$$

$$J_0 = -\left(\frac{c}{2}\right) \cdot \cos(2\alpha) \quad (9)$$

$$J_{45} = -\left(\frac{c}{2}\right) \cdot \sin(2\alpha) \quad (10)$$

$$s = M - \sqrt{J_0^2 + J_{45}^2} \quad (11)$$

$$z = 2 \cdot \sqrt{J_0^2 + J_{45}^2} \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{\arctan\left(\frac{J_{45}}{J_0}\right)}{2} + 90 \quad (13)$$

M	<i>sphärisches Äquivalent</i>
J_0	<i>Zylinderstärke in Achse 0° bzw. 180°</i>
J_{45}	<i>Zylinderstärke in Achse 45°</i>
s	<i>Sphäre</i>
z	<i>Zylinder</i>
α	<i>Zylinderachs</i>

Der Hornhautscheitelabstand ist eine Größe, die bei der Refraktionsbestimmung mit berücksichtigt werden muss, da die Änderung des Hornhautscheitelabstandes⁴ Aus-

⁴ Der Hornhautscheitelabstand ist der Abstand zwischen Hornhautapex und Rückseite des Korrektionsglases.

wirkungen auf die Wirkung des Korrektionsglases vor dem Auge hat. Sie ist umso höher, je stärker die Änderung ist. Methling empfiehlt diese Berücksichtigung ab einer Fehlsichtigkeit von $\geq 5,0$ dpt vorzunehmen. (Methling 2013)

4.3 Akkommodation

Die Akkommodation, das heißt die Einstellung der Augen auf verschiedene Entfernungen, ist altersabhängig. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Verformbarkeit der Augenlinse, die Voraussetzung zum Akkommodieren, mit dem Alterungsprozess geringer wird und in hohem Alter sogar vollständig verschwindet.

Der genaue Zusammenhang zwischen Alter und maximaler Akkommodation ist in der Duane-Kurve dargestellt. Diese ist die Basis für die Schätzung der Akkommodationsbreite. In Tab. 4 sind die Wertebereiche für den maximalen Akkommodationserfolg je Altersgruppe, basierend auf der Duane-Kurve, aufgeführt.

Tab. 4 Zusammenhang zwischen Alter u. max. Akkommodationserfolg (Lachenmayr u.a. 2006)

Altersgruppe [Jahre]	maximaler Akkommodationserfolg [dpt]
8 - 12	9,00 - 16,50
12 - 16	8,75 - 16,25
16 - 20	6,75 - 16,25
20 - 24	6,50 - 15,75
24 - 28	6,50 - 13,75
28 - 32	5,25 - 11,25
32 - 36	4,50 - 10,00
36 - 40	3,25 - 9,50
40 - 44	2,00 - 8,25
44 - 48	1,25 - 6,50
48 - 52	0,50 - 4,50
52 - 56	0,50 - 2,50
56 - 60	0,25 - 2,25
60 - 64	0,25 - 2,00
64 - 68	0,25 - 1,75
68 - 72	0,25 - 1,75

Die Akkommodationsfähigkeit verringert sich bereits ab dem Kindesalter. Von Alterssichtigkeit spricht man, wenn die Akkommodationsfähigkeit soweit abgenommen hat, dass man ohne Nahkorrektur in der Nähe nicht mehr scharf sehen kann bzw. bei einem maximalen Akkommodationserfolg von $< 4,0$ dpt. (Methling 2013)

In einem Alter von 55 bis 60 Jahren ist die eigentliche Akkommodationsfähigkeit nicht mehr vorhanden. Die Vergrößerung der Tiefenschärfe führt jedoch zu einem ähnlichen Effekt wie die Akkommodation und wird durch eine Verkleinerung der Pupille und Verringerung der Sehschärfe verursacht. Aus diesem Grund pendelt sich die angegebene Akkommodationsfähigkeit von Duane, die den Effekt der Tiefenschärfe berücksichtigt, ab einem Alter von etwa 70 Jahren bei ungefähr 1,0 dpt ein. (Diepes 2004)

4.4 Vorinformationen zur Refraktionsbestimmung

Laut Lachenmayr (2011a) ist eine objektive Refraktion die Voraussetzung für eine gute subjektive Refraktionsbestimmung. Als Möglichkeiten, um an die Vorinformationen zu gelangen, werden automatische objektive Refraktometer und die Skiaskopie genannt, die zwar keine zuverlässigen Werte bzw. nur eine grobe Richtung liefern, aber Basis für die subjektive Bestimmung sind.

Die Studie „Funktionsprinzipien und Messgenauigkeit moderner Autorefraktometer“ von Wesemann (Wesemann 2004) gibt Aufschluss darüber, wie zuverlässig die mit Autorefraktometern ermittelten Werte wirklich sind. Hierbei wird jedoch nur die Messgenauigkeit der Tischrefraktometer berücksichtigt, da das frei gehaltene Gerät eher bei geweiteten Pupillen empfohlen wird, Augenoptiker jedoch keine Tropfen zur Weitung der Pupille verabreichen dürfen.

Der Betrag der sphärischen Abweichung der Autorefraktometer-Werte von den subjektiv ermittelten Werten beläuft sich in der Studie in 79 - 82 % der Messungen auf $\leq 0,5$ dpt. Die maximale Abweichung beträgt 1,5 dpt. Für die Abweichung der zylindrischen Refraktion zwischen Autorefraktometer-Werten und den subjektiv ermittelten Werten ergibt sich in 91 - 100 % ebenfalls ein Betrag von $\leq 0,5$ dpt.

Die Abweichung für die „Achsendifferenz“ in der Studie als DA bezeichnet, beträgt im Mittel in 87% der Messungen $\leq 0,5$ dpt. Die Achsendifferenz setzt sich aus Zylinderstärke und Zylinderachse zusammen und wird mit Formel 14 berechnet:

$$DA = 2C_{SR} \cdot \sin(\alpha_{AR} - \alpha_{SR}) \quad (14)$$

Als weitere grobe Informationsquelle über die Fehlsichtigkeit des Probanden eignet sich eine evtl. getragene Brille. Je aktueller die Brille ist, umso besser stimmt ihre

Korrektion vermutlich mit der tatsächlichen Fehlsichtigkeit des Probanden überein. Das Alter der Brille und die optischen Werte der Brille geben, im Vergleich mit der aktuell ermittelten Fehlsichtigkeit aus der subjektiven Refraktion, zusätzlich einen Anhaltspunkt, ob sich die Fehlsichtigkeit stark oder über einen kurzen Zeitraum verändert hat. Die Durchführung einer objektiven Refraktion, die Vorinformationen zur Fehlsichtigkeit des Probanden liefert, erfolgt noch vor der Bestimmung der Sehschärfe und dem Abdecken eines Auges.

4.5 Refraktionsbestimmung

Da die Software später zu einem Refraktions-Simulator erweitert werden soll, der aus einem künstlichen Schädel und Sensoren als Augen bestehen soll, finden Refraktionstechniken Berücksichtigung, die mithilfe der Messbrille durchgeführt werden.

Die Refraktionsbestimmung für das Einzelauge für die Ferne besteht aus mehreren Einzelschritten, die in Abb. 5 abgebildet sind und in den folgenden Unterkapiteln ausführlich beschrieben werden.

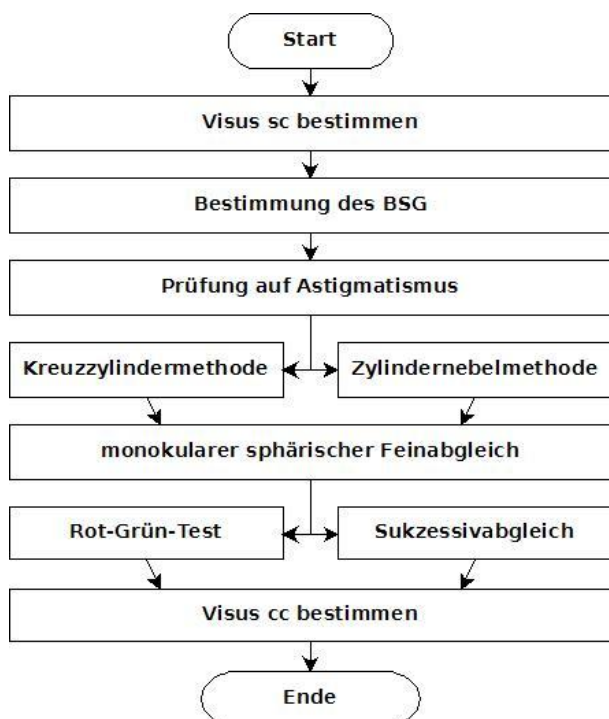


Abb. 5 Flussdiagramm zur monokularen Refraktionsbestimmung

4.5.1 Bestimmung der Sehschärfe

Das Bestimmen der Sehschärfe ist der erste Schritt der subjektiven Refraktion, aber auch ein Schritt, der während der Refraktion immer wieder notwendig ist. Die ermittelte Sehschärfe dient als Grundlage für die Wahl der Abstufung der Prüfgläser, für die Wahl der Optotypengröße und zur Überprüfung einer Visussteigerung. Sie ist gewissermaßen das „Erfolgskriterium der zunehmend optimierten Korrektur“ (Lachenmayr 2011:5). Eine Visusstufe gilt als bestanden, wenn etwa 60% der dargebotenen Optotypen dieser Visusstufe richtig benannt wurden. Es werden somit die kleinsten Optotypen ermittelt, von denen der Proband noch 60% erkennen kann. (DIN 2009)

4.5.2 Bestimmung des besten sphärischen Glases (BSG)

Zu Beginn der Refraktion wird das vermutlich bessere Auge des Probanden zugedeckt. Um das beste sphärische Glas zu bestimmen, folgt die Bestimmung des freien Visus (V_{sc}), das heißt des Visus ohne Korrektur. Nach diesem Visus wird das erste sphärische Messglas gewählt (siehe Tab. 5). Das erste sphärische Messglas ist immer ein Plusglas. Ist der V_{sc} größer als 0,5, so hat das erste Glas die Stärke +0,25 dpt. Wird ein Plusglas vorgehalten, d. h. auf Hyperopie geprüft, so lautet die zugehörige Frage immer: „Wird das Sehen mit dem nächsten Glas schlechter?“. Das Plusglas wird solange verstärkt, bis eine Sehverschlechterung eintritt. Das nächste schwächere Plusglas ist dann das BSG.

Tab. 5 Stufungstabelle für sphärische Gläser (Lachenmayr u.a. 2006)

Visus	Glasabstufung [dpt]
unter 0,05	2,00
0,05 - 0,2	1,00
0,2 - 0,5	0,50
über 0,5	0,25

Führt das erste Plusglas direkt zu einer Sehverschlechterung, so liegt keine Hyperopie vor und es wird auf Myopie geprüft. Da bei der Prüfung auf Myopie auf eine Visusverbesserung geachtet werden muss, lautet die Frage an den Probanden beim Vorhalten von Minusgläsern immer: „Wird das Sehen mit dem nächsten Glas besser?“ Auch hier wird das Minusglas so lange verstärkt, bis keine Visussteigerung mehr erfolgt. Das nächste schwächere Minusglas ist das BSG. Bemerkt der Proband

schon beim Vorhalten des ersten Minusglases keine Visusverbesserung, so hat er keine sphärische Fehlsichtigkeit, das BSG ist also 0.

Wichtig ist, dass immer zuerst die Frage gestellt wird, und im Anschluss daran das entsprechende Glas vor das Auge gehalten wird. Zwischen der Frage und dem Vorhalten des Glases sollte der Proband eine knappe Sekunde Zeit haben, sich den aktuellen Seheindruck einzuprägen. (Diepes 2004)

Da der Proband ein zu starkes Minusglas durch Akkommodation ausgleichen kann, ohne dass der Visus schlechter wird, ist es sehr wichtig, immer wieder zu überprüfen, ob der Visus wirklich steigt. Während des gesamten Prozesses müssen die Optotypen immer weiter verkleinert werden, um den Visus des Probanden zu ermitteln und die Stärke des vorzuhaltenden Glases zu ermitteln. (Köhler 2011)

Ziel ist es, das stärkste Plusglas bzw. das schwächste Minusglas zu finden, mit dem der Brennpunkt des Auges, bzw. bei astigmatischer Fehlsichtigkeit der Kreis kleinster Verwirrung auf der Netzhaut liegt. (Köhler 2011)

Um eine Nahakkommodation des Probanden und die Anregung dazu bei der Fernrefraktion in jedem Fall zu vermeiden, sind Änderungen an der Messbrille immer in Richtung Plus durchzuführen. Das bedeutet im Einzelnen: bei Plusgläsern immer erst das neue Glas vorhalten, bevor das alte weggenommen wird und bei Minusgläsern zunächst das alte Glas entfernen, bevor das neue Glas vorgehalten wird. (Methling 2013)

Besonders übersichtlich kann der Ablauf der Refraktionsschritte in einem Flussdiagramm dargestellt werden (Vgl. Abb. 6). Falls vor der Bestimmung des BSG bekannt ist, dass der Proband myop oder hyperop ist, kann direkt im entsprechenden Abschnitt begonnen werden, so dass der Ablauf verkürzt wird.

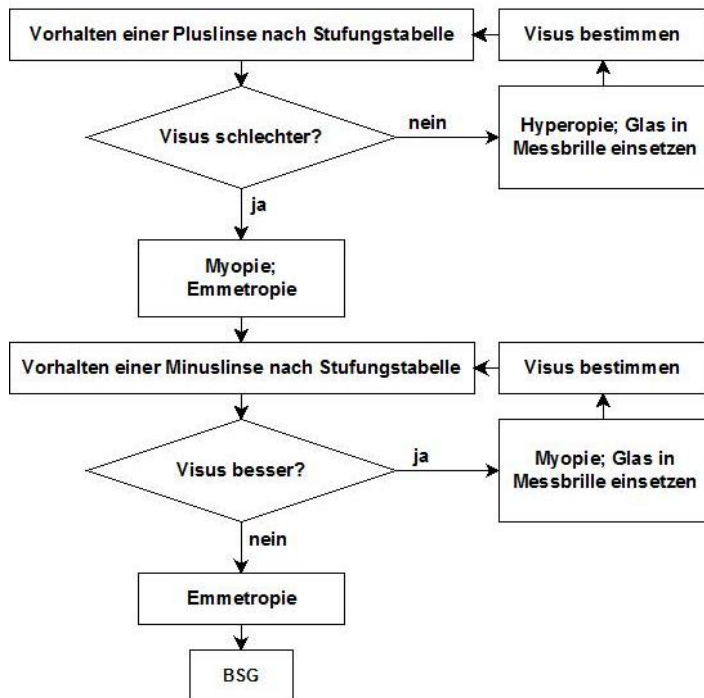


Abb. 6 Flussdiagramm zur Bestimmung des BSG (Krause 1985)

4.5.3 Prüfung auf Astigmatismus

Die Prüfung auf Astigmatismus ist nach der Bestimmung des BSG der nächste Schritt bei der Refraktion, für den es verschiedene Verfahren gibt. Die bekanntesten Verfahren sind die Kreuzzylindermethode und die Zylindernebelmethode (ZNM). „Das standardmäßig anzuwendende Verfahren ist die Kreuzzylindermethode, alternative Verfahren sind seltenen Sonderfällen vorbehalten (z.B. Zylindernebelmethode)“ (Lachenmayr 2011:5).

Kreuzzylindermethode

Die Kreuzzylindermethode basiert auf dem Prinzip, dass ein Kreuzzylinder die zwei Brennlinien, die durch eine astigmatische Linse oder eine astigmatische Fehlsichtigkeit des Auges entstehen, symmetrisch zu dem Kreis kleinster Verwirrung (KKV) verschoben werden. Auf diesen Kreis kleinster Verwirrung stellt sich das Auge normalerweise scharf, wenn eine astigmatische Fehlsichtigkeit vorliegt. Das Vorhalten eines Kreuzzylinders hat somit keinen Einfluss auf den sphärischen Anteil der Korrektur, der schon zuvor bei der Bestimmung des BSG bestimmt wurde. Folglich „[...] verringert sich der Abstand beider Bildlinien symmetrisch zum KKV [...]“ wenn der Kreuzzylinder in der richtigen Achse vorgehalten wird (Krause 1985:104). Bei fal-

scher Achslage des Kreuzzylinders vergrößert sich im Umkehrschluss der Abstand. Je weiter die Brennnlinien voneinander entfernt sind, desto größer und unschärfer erscheint auch der KKV. Für den Probanden ist somit leicht ein Unterschied zwischen den Seheindrücken mit dem in richtiger und falscher Achslage vorgehaltenen Kreuzzylinder zu erkennen.

Ein Kreuzzylinder besteht aus zwei Zylindern gleicher Stärke mit umgekehrtem Vorzeichen, deren Achsen um 90° zueinander verdreht sind. Die angegebene Achse, in der der Kreuzzylinder vorgehalten wird, entspricht immer der Minusachse des Kreuzzylinders. Diese ist durch rote Punkte auf dem Kreuzzylinder markiert. Das Drehen des Kreuzzylinders um 180° , wenn man den Stiel des Zylinders als Achse betrachtet, führt dazu, dass sich die Plus- und Minuszylinderachse des Kreuzzylinders vertauschen, da der Stiel in jeweils 45° zu den Zylinderachsen angebracht ist.

Die Kreuzzylindermethode gliedert sich in die Teilschritte Nachweis des Astigmatismus bzw. Grobabgleich der Zylinderachse, Grobabgleich der Zylinderstärke, Feinabgleich der Zylinderachse und Feinabgleich der Zylinderstärke, die in dieser Reihenfolge durchgeführt werden und in Abb. 7 abgebildet sind. Falls Vorinformationen für die Refraktion bekannt sind, so können diese genutzt werden und es ist lediglich noch der Feinabgleich von Zylinderachse und -stärke notwendig.

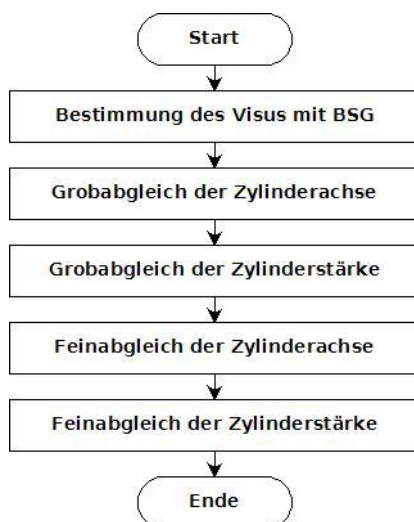


Abb. 7 Flussdiagramm zum Ablauf der Kreuzzylindermethode

Vor dem Zylinderabgleich sind dem Probanden runde Optotypen darzubieten, da bei eckigen Zeichen bestimmte Richtungen aufgrund des Linienverlaufes bevorzugt werden könnten. (Friedburg & Krause 2002a)

Des Weiteren sind die Optotypen darzubieten, die zwei Visusstufen größer sind, als der Visus mit BSG und der Proband muss vor Beginn der Astigmatismusprüfung darauf hingewiesen werden, dass der Seheindruck mit dem Vorschalten des Kreuzzylinders schlechter werden kann. Eckige Optotypen, wie zum Beispiel der E-Haken, führen dazu, dass bei schräger Achslage des Refraktionsdefizites diese Lage nicht schärfer gesehen wird, weil das Sehzeichen keine Linien in Orientierung dieser Richtung hat. Der Proband wird in diesem Fall angeben, dass die Achse 0° oder 90° besser ist, je nachdem welche dieser beiden Lagen der tatsächlichen Achslage am nächsten kommt. (Lachenmayr u.a. 2006)

Der Nachweis des Astigmatismus erfolgt bei geschätzten großen Zylindern durch Vorhalten des Kreuzzylinders in den Achslagen 0° , 90° , 45° und 135° . Diese Reihenfolge sollte bei der Darbietung aufgrund der Häufigkeiten der verschiedenen Achslagen eingehalten werden. Aus den Achslagen des Kreuzzylinders, bei denen dem Probanden der Seheindruck am besten erscheint, resultiert die Achslage, in der der Korrektionszylinder mit der geschätzten Stärke eingesetzt wird. Ist der geschätzte Zylinder klein, so ist die Wendebefragung von Vorteil. Hierzu wird der Proband gebeten, jeweils die Seheindrücke mit dem Kreuzzylinder in den Achslagen 0° und 90° bzw. 45° und 135° zu vergleichen. Der Ablauf der Prüfung ist in dem Diagramm in Abb. 8 dargestellt. (Krause 1985)

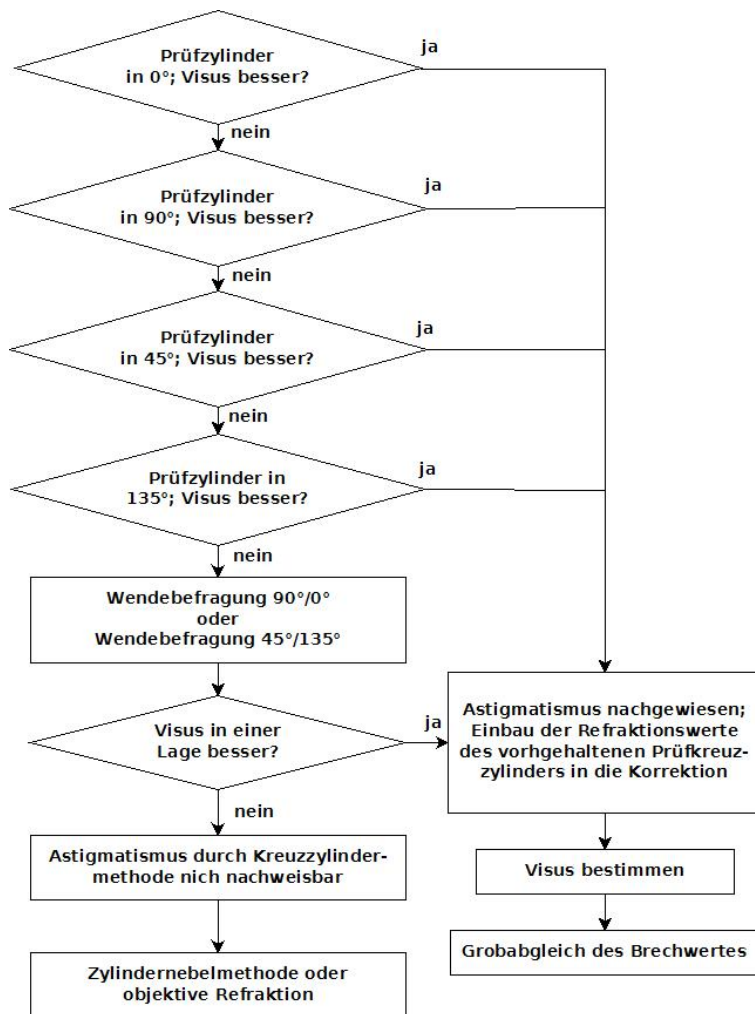


Abb. 8 Flussdiagramm zum Nachweis des Astigmatismus (Krause 1985)

Die grobe Stärke des Korrektionszylinders wird durch Abschätzen ermittelt, da es, wie schon in Kapitel 4.2 beschrieben, einen Zusammenhang zwischen Visus und Astigmatismus gibt. Als Grundlage hierfür dient der Visus mit sphärischer Korrektur. In Tab. 6 ist der geschätzte Zylinder und gleichzeitig die Glasabstufung je Visus mit BSG dargestellt. Zusätzlich zu dem abgeschätzten Zylinder muss ein sphärisches Plusglas⁵ zur Korrektur eingesetzt werden, das der Hälfte der Zylinderstärke entspricht. Andernfalls verschiebt sich der KKV und die Voraussetzung für die Kreuzzylindermethode ist nicht mehr gegeben. (Krause 1985)

⁵ Das Plusglas ist vor dem Minuszylinderglas einzusetzen, um die Akkommodation des Probanden nicht anzuregen.

⁶ Wenden des Kreuzzylinders bedeutet, dass der Kreuzzylinder 180° um die Achse des Stiels gedreht

Tab. 6 Stufungstabelle für zylindrische Gläser (Lachenmayr u.a. 2006)

Visus	Glasabstufung [dpt]
0,05 - 0,2	2,00
0,2 - 0,7	1,00
0,7 - 1,0	0,50
über 1,0	0,25

Für den Feinabgleich der Zylinderachse, der nun erfolgt, muss der Kreuzzylinder in der Position Stiel auf Achse verwendet werden. Dies bedeutet, dass sich der Stiel des Kreuzzylinders parallel zur Achse des eingesetzten Zylinderglases befindet. Die Achse des Kreuzzylinders befindet sich dann in 45° zur Achse des Zylinderglases (dies ist die erste Lage des Kreuzzylinders). Durch Wenden des Kreuzzylinders⁶ wird die Achse um 90° umgeschlagen und befindet sich 45° in der anderen Richtung zur Achse des Zylinderglases (dies ist die zweite Lage des Kreuzzylinders). Während der Kreuzzylinder gewendet wird, ist der Proband zu fragen, in welcher Lage der Seheindruck besser ist. (Krause 1985)

Durch das Zusammenwirken der verschiedenen Achslagen von Kreuzzylinder und vorgeschaltetem Zylinder, ergibt sich, dass die Achse des eingesetzten Zylinders in Richtung der als besser angegebenen Achslage korrigiert werden muss. Vorteilhaft ist es, bei der Korrektur der Achse beim Feinabgleich, nach einem Schema vorzugehen. Es empfiehlt sich zum Beispiel nach dem ersten Wenden des Kreuzzylinders die Achse des eingesetzten Zylinders um 15° zu korrigieren, nach dem zweiten Wenden um 10° , nach der dritten Wendebefragung um 5° und dann bei größeren Zylinderstärken noch so weit, wie der Proband einen Unterschied wahrnehmen kann. Sobald beide Lagen einen gleich guten Seheindruck liefern, ist die richtige Achse erreicht. (Friedburg & Krause 2002b)

Den Abschluss der Kreuzzylindermethode bildet der Feinabgleich der Zylinderstärke. Für diesen muss die Position des Kreuzzylinders entweder Achse auf Achse oder Achse gekreuzt zur Achse sein. Das bedeutet, dass die Minusachse des Kreuzzylinders

⁶ Wenden des Kreuzzylinders bedeutet, dass der Kreuzzylinder 180° um die Achse des Stiels gedreht wird, so dass das Glas des Kreuzzylinders andersherum vor der Messbrille gehalten wird. Die Achse des Kreuzzylinders schlägt damit um 90° um. Es muss darauf geachtet werden, dass das Wenden schnell geht, der Kreuzzylinder aber, abgesehen von der Wendebewegung, so wenig wie möglich bewegt wird.

ders parallel zur Achse des eingesetzten Zylinders (Lage 1) oder in 90° zur Achse des eingesetzten Zylinders (Lage 2) gehalten wird.

Für den Fall, dass der Proband noch einen Astigmatismus aufweist, führt die eine Lage des Kreuzzylinders zu einer Vergrößerung des Astigmatismus und die andere zu einer Verringerung. Der Proband kann somit deutlich erkennen, in welcher Lage der Seheindruck besser ist. Entsprechend wird der Minuszylinder verstärkt (Lage 1 besser) oder abgeschwächt (Lage 2 besser). Die Verstärkung und Abschwächung erfolgt in der Regel um 0,25 dpt, da der Grobabgleich schon stattgefunden hat, bzw. recht genaue Vorinformationen berücksichtigt wurden. Sobald der Proband keinen Unterschied mehr erkennen kann, ist die richtige Zylinderstärke erreicht. (Lachenmayr u.a. 2006)

Zylindernebelmethode

Die Zylindernebelmethode ist eine Methode, die zur Bestimmung des Astigmatismus verwendet wird, wenn mit der Kreuzzylindermethode kein Astigmatismus mixtus⁷ erreicht wird, weil der Proband z. B. auf einen der beiden Hauptschnitte akkommodiert. (Lachenmayr u.a. 2006)

Die einzelnen Schritte der Zylindernebelmethode sind in Abb. 9 dargestellt.

⁷ Bei einem Astigmatismus mixtus befinden sich die Brennpunkte der zwei Hauptschnitte im jeweils gleichen Abstand zur Netzhaut, der Kreis kleinster Verwirrung liegt genau auf der Netzhaut.

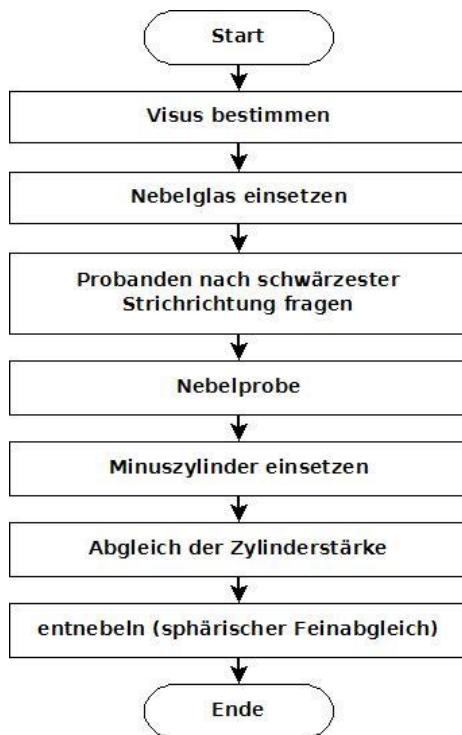


Abb. 9 Flussdiagramm zur Zylindernebelmethode

Die Zylindernebelmethode hat ihren Namen, da die Prüfung auf Astigmatismus unter Nebelung des Probanden durchgeführt wird. Nebeln bedeutet Vorschalten eines Plusglases, das heißt künstliches Erzeugen einer Myopie, so dass der Seheindruck unscharf ist. Dazu müssen beide Brennpunkte so vor der Netzhaut liegen, dass der Proband auf keine der beiden Brennpunkte akkomodieren kann. Das Einsetzen eines sogenannten Nebelglases ist der erste Schritt der Methode. Um die richtige Stärke des Plusglases zu erhalten, muss es eine halbe Dioptrie stärker als die Hälfte des geschätzten Zylinders⁸ sein. (Lachenmayr u.a. 2006)

Tab. 7 Nebelglas berechnet nach Lachenmayr (2006)

Visus	Nebelglas [dpt]
0,05 - 0,2	1,50
0,2 - 0,7	1,00
0,7 - 1,0	0,75
über 1,0	0,50

⁸ Für die Zylindernebelmethode wird wie bei der Kreuzzylindermethode der Zylinder nach dem Visus mit BSG geschätzt (siehe Tab. 6).

Um die Zylindernebelmethode anzuwenden, braucht man keine normalen Optotypen, sondern eine Strichfigur (siehe Abb. 10 oder ähnlich). Man lässt den Probanden auf die Strichfigur schauen und fragt, ob eine Strichrichtung schwärzer erscheint als die anderen. Ist dies der Fall, wird zunächst durch die Nebelprobe überprüft, ob das Nebelglas die richtige Stärke hat. Dazu wird ein Messglas der Stärke $-0,25$ dpt vorgehalten und gefragt, ob die Striche noch schwärzer bzw. deutlicher werden. Ist dies nicht der Fall, muss das Nebelglas verstärkt werden und weiter mit $-0,25$ dpt geprüft werden, bis die Striche durch Vorhalten von $-0,25$ dpt besser werden. Die Nebelprobe ist notwendig, da es sein kann, dass der Proband durch das Nebeln eine festgehaltene Akkommodation löst.

Stimmt das Nebelglas, so muss ein Zylinder der geschätzten Stärke in der Achse eingesetzt werden, welche zu der schwärzer erscheinenden Strichrichtung um 90° verdreht ist⁹ und danach zusätzlich an der vertikalen Achse gespiegelt wird¹⁰. Um sich diese Umrechnung der Achse zu ersparen, ist in der Strahlenfigur die Achse, in der der Zylinder eingesetzt werden muss, schon an der entsprechenden Strichgruppe notiert. (Lachenmayr u.a. 2006)

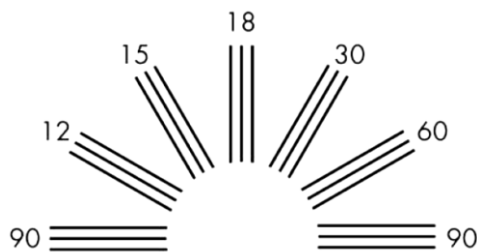


Abb. 10 Strahlenfigur für die Zylindernebelmethode (Lachenmayr u.a. 2006)

Nimmt der Proband, nach dem Einsetzen des geschätzten Zylinderglases, die gleiche Strichgruppe wie vorher schwärzer wahr, so ist die Stärke des eingesetzten Zylinders noch zu schwach. Der Zylinder muss nun soweit verstärkt werden, bis alle Strichrichtungen gleich schwarz erscheinen. Sieht der Proband die Striche schwärzer, die in 90° zur den ursprünglich am schwärzesten wahrgenommenen Strichen liegen, so ist der Zylinder schon zu stark und muss abgeschwächt werden. (Lachenmayr u.a. 2006)

⁹ da der Zylinder in 90° zur Achse wirkt

¹⁰ da wir für die Achslage in der wir den Zylinder einsetzen aus der anderen Richtung auf die Messbrille schauen, als der Proband durch die Messbrille schaut.

Sieht der Proband nun keine Strichrichtung mehr schwärzer als andere, so ist die richtige Zylinderstärke erreicht. Der Proband ist jedoch noch genebelt. Um die Nebelung aufzuheben, wird nun das Plusglas von 0,5 dpt entfernt. Es sollte noch eine Überprüfung der richtigen Sphäre durch einen sphärischen Feinabgleich erfolgen. Nachteilig an der Kreuzzylindermethode ist, dass die Zylinderachse nicht so genau bestimmt werden kann. (Lachenmayr u.a. 2006)

4.5.4 Monokularer sphärischer Feinabgleich

Der monokulare sphärische Feinabgleich ist notwendig, wenn ein größerer Astigmatismus vorliegt. Dann nämlich kann die Bestimmung des BSG noch etwas ungenau sein.

Über die Notwendigkeit eines monokularen sphärischen Abgleichs (z. B. mit dem Rot-Grün-Test) sind die Meinungen verschieden. Laut Lachenmayr u. a. (2006) beschleunigt er wesentlich den Binokularabgleich. Friedburg und Krause (2002b) testieren dem sphärischen Feinabgleich Redundanz, sofern anschließend noch ein binokularer Feinabgleich erfolgt.

Es gibt verschiedene Abgleichverfahren, die sich in simultane und sukzessive Verfahren unterteilen lassen. Bei simultanen Verfahren muss der Proband gleichzeitige Seheindrücke miteinander vergleichen. Bei den sukzessiven Verfahren hingegen vergleicht der Proband zeitlich aufeinander folgende Seheindrücke. Für die Refraktion mit Messbrille sind Sukzessiv-Verfahren nicht so geeignet, es sei denn, man nimmt Abgleichleiste oder Wendevorhalter zur Hilfe, da die Gläser nicht so schnell gewechselt werden können wie mit dem Phoropter. Des Weiteren ist es einfacher, gleichzeitig wahrgenommene Seheindrücke zu vergleichen. (Lachenmayr u.a. 2006)

Bei den Sukzessiv-Verfahren geht es darum, die Korrektur zu finden, bei der das Vorschalten eines Prüfglases der Stärke +0,25 dpt zu einer Verschlechterung und das Vorschalten eines Prüfglases der Stärke -0,25 dpt nicht zu einer Verbesserung führt. Dazu wird der gleiche Vorgang wie bei der Bestimmung des BSG gewählt. Bei Vorschalten eines Plusglases muss die Frage erfolgen, ob es schlechter wird und bei Vorschalten eines Minusglases die Frage, ob es besser wird. Eine angegebene Verbesserung des Seheindrucks hat dabei überprüft zu werden.

Der Rot-Grün-Test (simultan) ist der gebräuchlichste Test für den monokularen sphärischen Feinabgleich. Er basiert auf der chromatischen Aberration des Auges, d. h. das kurzwelligere grüne Licht wird im Auge stärker gebrochen als das langwelligere rote Licht. Folgend ist beispielhaft ein Rot-Grün-Test abgebildet. Die Tafeln sind ebenfalls mit Buchstaben und anderen Optotypen anstelle von Landolt-Ringen zu finden. (Lachenmayr u.a. 2006)

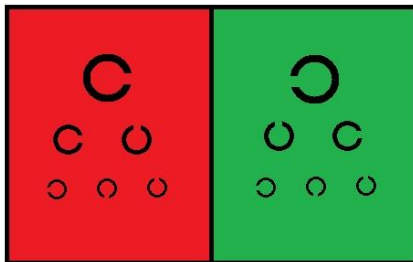


Abb. 11 Rot-Grün-Test für den monokularen sphärischen Feinabgleich

Bei der Darbietung ist der Proband darauf hinzuweisen, dass er den Schwärzegrad und den Kontrast der Sehzeichen mit rotem und grünem Hintergrund vergleichen soll. Es geht ausdrücklich nicht um die Schärfe. Am besten ist die Anweisung: „Bitte blicken Sie auf das grüne Testfeld und vergleichen Sie die [Sehzeichen] mit der entsprechenden Zahl im roten Feld. Blicken Sie dabei nur kurz auf das rote Feld und gehen Sie sofort wieder auf das grüne Feld zurück. Besteht ein deutlicher Unterschied in der Schwärze der Sehzeichen?“ (Lachenmayr u.a. 2006:70). Empfindet der Proband nun die Sehzeichen mit rotem Hintergrund kontrastreicher und schwärzer, so muss die Korrektur in Richtung Minus angepasst werden, damit der Brennpunkt des roten Lichtes weiter hinter der Netzhaut liegt und der mittlere Wellenlängenbereich genau auf der Netzhaut abgebildet wird. Dementsprechend muss die Korrektur nach Plus korrigiert werden, wenn die Sehzeichen im grünen Feld schwärzer erscheinen. Nicht immer kann ein absolutes Gleichgewicht im Schwärzegrad erreicht werden. Bei jüngeren Probanden sollte akzeptiert werden, dass das grüne Feld kontrastreicher erscheint und bei presbyopen Probanden das rote Feld. (Lachenmayr u.a. 2006)

4.5.5 Befragungstechnik

„Die richtige Befragungstechnik ist für den Erfolg der Refraktion und für die Geschwindigkeit mit der diese abläuft, von entscheidender Bedeutung“ (Lachenmayr u.a. 2006:98). Ebenso sind klare Anweisungen und eindeutiges Agieren des Prüfers

während der Refraktionsbestimmung wichtig, damit es keine Missverständnisse in der Kommunikation gibt. In diesem Kapitel werden die Fragen und Anweisungen, die für die verschiedenen Schritte der Refraktion geeignet sind aufgeführt. Der genaue Wortlaut der Fragen ist nicht immer in der Literatur zu finden und variiert. Bei der Refraktion kommt es auch nicht darauf an, ob Position 1, Lage 1 oder Glas 1 gesagt wird, sondern dass das Prinzip umgesetzt ist. Aus diesem Grund ist der folgend gewählte Wortlaut der Fragen durch Lachenmayr (2006), Methling (2013), Diepes (2004) und Krause (1985) inspiriert und individuell angepasst.

Die Fragen, die zur Bestimmung des BSG benötigt werden lauten: „Wird es mit dem nächsten Glas schlechter?“, „Wird es mit dem nächsten Glas besser?“ und „Wird das Bild mit dem nächsten Glas wirklich besser, oder nur kleiner und schwärzer?“. Außerdem muss der Prüfer die Anweisung geben „Bitte lesen Sie, was Sie sehen!“ um den Visus überprüfen zu können. Für die Befragung beim Wegziehen eines vorgehaltenen Plusglases, das schlechter ist, lautet die Frage: „Wird es so wieder besser?“.

Vor der Wendebefragung mit dem Kreuzzylinder ist folgender Hinweis an den Probanden zu richten: „Es kann sein, dass der Seheindruck mit dem nächsten Glas schlechter wird. Bitte vergleichen Sie trotzdem die zwei Seheindrücke!“.

Bei der Astigmatismusprüfung mit dem Kreuzzylinder muss der Proband stets zwei Seheindrücke vergleichen. Für die Wendebefragung mit dem Kreuzzylinder ist es somit wichtig, die Wendelagen zu benennen. Die Frage „Ist Lage 1 oder Lage 2 besser?“ führt im Gegensatz zu der Frage „Ist es so oder so besser?“ im Regelfall direkt zu einer eindeutigen Antwort. In dem Satz ist nach „Lage 1“ eine kurze Pause einzulegen und bei „oder“ der Kreuzzylinder schnell zu wenden. Für die Vorhaltebefragung werden die gleichen Fragen wie für die Bestimmung des BSG verwendet. Falls die Antwort des Probanden nach dieser Frage sehr zögerlich kommt, sollte die Frage „Oder sind beide Seheindrücke etwa gleich?“ folgen.

Die Fragen für die Zylindernebelmethode lauten „Sehen Sie eine Strichgruppe schwärzer als die anderen?“, „In welcher Richtung sind die Striche schwärzer?“ und „Haben die schwärzeren Striche die gleiche Richtung wie zuvor?“. Nach dem Entnebeln werden die Fragen und Anweisungen für den Rot-Grün-Test benötigt, um die Sphäre zu überprüfen.

Der monokulare sphärische Feinabgleich kann durch ein erneutes Einstellen des BSG mit den oben genannten Fragen erfolgen. Für den Rot-Grün-Test muss der Prüfer dem Probanden erklären, was er machen soll, und anschließend die Frage stellen: „Bitte blicken Sie auf das grüne Testfeld und vergleichen Sie das große Zeichen mit dem entsprechenden Zeichen im roten Feld. Blicken Sie dabei nur kurz auf das rote Feld und dann sofort wieder auf das grüne Feld. Besteht ein deutlicher Unterschied in der Schwärze der Sehzeichen?“.

Bei Probanden, die sich mit dem Entscheiden schwer tun oder Angst haben einen Buchstaben nicht zu erkennen hilft es, sie zum Raten zu ermuntern¹¹.

Die Antworten des Probanden hängen direkt von seinem Visus und damit seinem Seheindruck ab. Unter der Voraussetzung, dass der Proband die Wahrheit sagt, kann der Prüfer daraus das weitere Vorgehen richtig ableiten. Besondere Situationen ergeben sich jedoch aus den besonderen Probandeneigenschaften (siehe Tab. 11).

4.5.6 Fehler bei der Refraktionsbestimmung

Hier sollen Fehler benannt werden, die bei Anfängern in der Refraktionsbestimmung häufig zu beobachten sind. Die Auswirkungen dieser Fehler sind unterschiedlich schlimm. Zu den Fehlern, die häufig gemacht werden und die auf das Refraktionsergebnis Auswirkungen haben können, gehören folgende Fehler (Michels 2014):

- Vorgehen nach falscher Reihenfolge,
- Visus stimmt nach der Refraktion nicht,
- Stufung der Messgläser wird falsch gewählt,
- falsche Wahl der Sehzeichen (Art oder Größe),
- falsche Handhabung des Kreuzzylinders,
- sphärische Korrektur wird bei Vorschalten von Zylindern vergessen,
- es wird das Glas vorschaltet, bevor die Frage gestellt wird,
- ein Refraktionsschritt wird vollständig vergessen,
- es wird vergessen das zweite Auge zu refraktionieren.

¹¹ Zum Raten aufzufordern entspricht der Empfehlung nach DIN-Norm, da die Ratewahrscheinlichkeit in dem Kriterium, nach dem eine Visusstufe als bestanden gilt, mit berücksichtigt wird.

Fehler, die natürlich vermieden werden sollten, aber deren Auswirkungen auf das Refraktionsergebnis in der Regel geringer sind:

- die Refraktion wird nicht bis zum Ende durchgeführt,
- der sphärischen Feinabgleich wird vergessen,
- es wird vergessen den Visus am Ende zu bestimmen,
- die Tendenzbefragung wird falsch durchgeführt oder vergessen,
- der Hinweis, dass es mit Kreuzzylinder schlechter werden kann erfolgt nicht,
- eine Frage wird zu stellen vergessen,
- das Vorgehen ist zu langsam oder zu schnell.

Zu einem falschen Refraktionsergebnis kann es auch führen, wenn der Proband durch den Prüfer manipuliert wird. Dies kann unbewusst passieren, wenn „durch die Art der Fragestellung des Prüfers auf die Antworten des Probanden Einfluss genommen wird“ (Berke & Färber 2001:99).

Da für die Probandenantwort immer die Seheindrücke vom rechten und linken Auge berechnet und verglichen werden, und nach dem besseren Seheindruck geantwortet wird, ergibt sich eine Fehlerquelle, die der Realität sehr nah kommt. Wenn der Prüfer vergisst ein Auge abzudecken wird der Proband trotzdem sagen, was er sieht.

4.6 Optotypen

Der Landolt-Ring ist das einzige für Gutachten international anerkannte Sehzeichen. Nichtsdestotrotz gibt es Buchstaben, die hinsichtlich der Vergleichbarkeit untereinander ähnlich gut wie der Landolt-Ring zur Sehschärfenbestimmung geeignet sind (Grimm u.a. 1994) und die dementsprechend in nicht gutachterlichen Sehtests häufig Anwendung finden. Dies sind die acht Großbuchstaben C, D, E, K, N, P, U und Z, welche nach DIN 1451-2 (deutsche Verkehrsschrift) gestaltet sind.

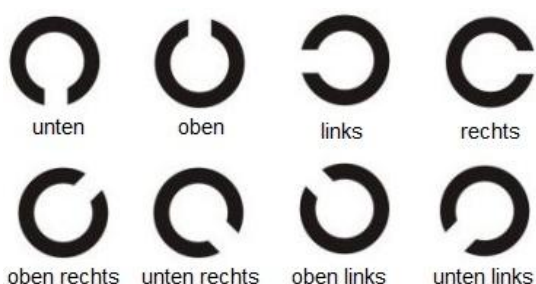


Abb. 12 Die acht Positionen des Landolt-Rings

Auch andere Sehzeichen, die nach wissenschaftlicher Erkenntnis die Anschlusskriterien an den Landolt-Ring erfüllen, können für allgemeine Sehtests verwendet werden. Für die ebenfalls häufig verwendeten Ziffern und E-Haken gibt es zwar Kriterien mit denen die Anschlussbedingungen erfüllt werden, da dies jedoch nur auf die vier Ziffern 0, 1, 4 und 7 zutrifft und auch der E-Haken nur in vier Positionen dargeboten werden kann, eignen sie sich nicht so gut für die Refraktionsbestimmung, da die Ratetatsacheinlichkeit bei vier Positionen 25 % beträgt, statt 12,5 % bei acht Darbietungspositionen (siehe Abb. 12). Jedoch bieten Zahlen und E-Haken eine Alternative "zur Visusbestimmung bei Kindern, Analphabeten, Amblyopen und sprachunkundigen Ausländern" (Methling 2013:192).



Abb. 13 Die vier Positionen des E-Haken

Die Anzahl der darzubietenden Optotypen ist in DIN EN ISO 8596 festgelegt. Je höher der Sehschärfewert, umso mehr Optotypen müssen dargeboten werden. Für Sehschärfewerte von 0,05 - 0,1 sind mindestens 2 Optotypen darzubieten, für die Sehschärfewerte von 0,125 bis 0,2 sind es 3 Optotypen und für Sehschärfewerte ab 0,25 sind es mindestens 5 Optotypen (DIN 2009). Trotz der Festlegung dieser Mindestanzahlen lautet die Empfehlung nach DIN-Norm für alle Sehschärfewerte 5, 8 oder 10 Optotypen darzubieten. Nach derselben Norm muss die Stufung der Optotypengröße logarithmisch sein und sich um den Faktor $\sqrt[10]{10} = 1,2589$ unterscheiden. Gebräuchlich sind nach dieser Stufung die folgenden Visuswerte: 0,02; 0,025; 0,032; 0,05; 0,063; 0,08; 0,1; 0,125; 0,16; 0,2; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,7¹²; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5. (Methling 2013)

¹² zwecks Führerscheinsehtests

4.7 Messbrille und Prüfgläser

Eine Messbrille hat für gewöhnlich 3 Steckplätze für Messgläser auf der Vorderseite und 1-2 Steckplätze auf der den Augen zugewandten Seite. Die Messbrille besitzt eine Skalierung nach TABO-Schema für die richtige Einstellung der Zylinderachse. (Methling 2013)

Allein die sphärischen und zylindrischen Prüfgläser in einem Satz ergeben eine Anzahl von etwa 100 Paar Gläsern, deren Stufung so gewählt ist, dass mit maximal 4 Prüfgläsern jede normale Korrektionswirkung erreichbar ist. Gebräuchlich ist bei den sphärischen Linsen eine Stufung in 0,25 dpt Schritten von $\pm 0,25$ - $\pm 4,0$ dpt, in 0,5 dpt Schritten von $\pm 4,5$ - $\pm 8,0$ dpt und in 1,00 dpt Schritten von $\pm 9,00$ - $\pm 20,00$ dpt. Zylindrische Prüflinsen werden meistens von $\pm 0,25$ - $\pm 4,00$ dpt in der Stufung 0,25 dpt bereitgehalten und von $\pm 4,5$ - $\pm 6,0$ dpt in der Stufung 0,5 dpt. Sphärische und zylindrische Linsen sind immer in doppelter Ausführung vorhanden. Ebenso sind in jedem Prüflinsensatz eine Vollblende und eine Lochblende enthalten. (Methling 2013)

4.8 Augenerkrankungen

Augenerkrankungen lassen sich nicht allein durch eine normale Refraktion bei Tageslichtbedingungen diagnostizieren. Ist der Visus mit bester Korrektion jedoch geringer als 0,8 oder hat sich der Visus über einen kurzen Zeitraum stark verändert, so besteht „[...]eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer Augenerkrankung [...]“ (Diepes 2004:61). Es ist jedoch ausdrücklich nicht die Aufgabe eines Augenoptikers, Diagnosen zu stellen. Es geht lediglich darum, Auffälligkeiten bei der Refraktion festzustellen und zu interpretieren. In diesen Fällen ist es die Aufgabe des refraktionierenden Augenoptikers, dem Kunden bzw. Patienten eine fachärztliche Abklärung zu empfehlen, um eine Erkrankung aufzudecken oder ausschließen zu können. (Friedrich, Degle & Grein 2011)

Um festzustellen, ob ein geringer Visus optisch korrigiert werden kann oder ob eine optische Ursache ausgeschlossen werden kann, muss der Augenoptiker mit der stenopäischen Blende (Blende mit 1 - 1,5 mm Ø) arbeiten. Durch die Ausblendung außersaxialer Strahlenbündel und eine höhere Abbildungstiefe kann, bei optisch verursachter Visusminderung, eine bessere Sehschärfe erreicht werden. So kann schnell festgestellt werden „[...]ob eine Visusminderung organisch-funktionell oder optisch

verursacht ist“ (Methling 2013:179). Wird mit der Stenopäischen Blende eine Visusstärkung erreicht, ist es wahrscheinlich, dass mit Korrektionsgläsern die gleiche Wirkung erzielt werden kann.

Fälle, in denen eine organisch-funktionelle Störung vorliegt, sind beispielsweise eine ausgeprägte Katarakt, Erkrankungen der Netzhaut oder des Sehnervs und Amblyopie. Beispiele für eine optische Störung sind Keratokonus, irregulärer Astigmatismus und Hornhautnarben, aber auch eine beginnende Katarakt.

Ein „[e]rhöhte[s] Risik[o] [besteht] bei Kurzsichtigkeit (Myopie) und grundsätzlich vom 40. Lebensjahr an“ (Berufsverband der Augenärzte 2014). Genaue Angaben zur Häufigkeit verschiedener Augenerkrankungen gibt es nicht, da die "[...]Datenlage in Deutschland äußerst unbefriedigend ist, so daß hier wiederum auf international vorgelegten(!) Studien zurückgegriffen werden muß, deren Ergebnisse in ihrer Größenordnung jedoch weitgehend übertragbar sein dürften" (Tesch-Römer & Wahl 1996:8). In dem von der DOG herausgegebenen Weißbuch zur ophthalmologischen Situation in Deutschland (2012) sind jedoch geschätzte Zahlen aus Erhebungen in anderen Ländern zu finden, die an die deutsche Bevölkerung angepasst wurden.

Danach liegt die geschätzte Häufigkeit einer Katarakt bei 12,3 %, bei Glaukom im Frühstadium bei 1,6 % und bei ausgeprägtem Glaukom bei 1,2 %. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Zahlen für die Gesamtbevölkerung gelten. Da gerade die Katarakt meistens eine Alterserscheinung ist und auch für Glaukom ein „[e]rhöhte[s] Risik[o] [...] bei Kurzsichtigkeit (Myopie) und grundsätzlich vom 40. Lebensjahr an“ besteht, differieren die Zahlen sehr stark in unterschiedlichen Altersgruppen (Berufsverband der Augenärzte 2014). Hier zwei Beispiele für die schwer in eindeutigen Zahlen auszudrückende Häufigkeit und Kategorisierung von Augenerkrankungen:

„Im Alter zwischen 52 und 64 Jahren haben 50 % der Bevölkerung einen Grauen Star, ohne Sehstörungen zu bemerken. Zwischen 65 und 75 Jahren sind es weit über 90%, wobei die Hälfte von ihnen Beeinträchtigungen ihres Sehvermögens wahrnehmen, wenn sie das 75. Lebensjahr erreicht haben.“ (Berufsverband der Augenärzte 2014)(Berufsverband der Augenärzte 2014)

„Der Großteil von Menschen mit schweren Sehbeeinträchtigungen, ca. 70% ist 60 Jahre und älter [...]“ (Tesch-Römer & Wahl 1996:8).

4.9 Eigenschaften mit Auswirkungen auf das Probandenverhalten

Außer den optisch relevanten Probandeneigenschaften wie Fehlsichtigkeit, Visus und Akkommodationsvermögen spielen noch andere Eigenschaften eine Rolle bei der Refraktionsbestimmung. Das Probandenalter spielt in dieser Hinsicht nicht nur bezüglich der Augen eine Rolle, da auch das Hörorgan betroffen ist. Der Anteil der Schwerhörigen in den verschiedenen Altersgruppen, wie er vom statistischen Bundesamt angegeben wurde (1991), ist in Tab. 8 dargestellt.

Tab. 8 Anteil der Schwerhörigen in verschiedenen Altersgruppen (Statistisches Bundesamt 1991)

Altersgruppe	Anteil der Schwerhörigen
0 - 17	1,3 %
18 - 38	4,4 %
39 - 45	2,6 %
46 - 70	42,7 %
> 71	49,0 %

Desweiteren können die geistige Verfassung, Analphabetismus, die Tendenz rechts und links zu vertauschen und Entscheidungsschwierigkeiten des Probanden sich auf den Verlauf der Refraktion auswirken und zu falschen Ergebnissen führen, wenn der Prüfer diese nicht erkennt. Zur Häufigkeit von Probanden, die rechts und links vertauschen oder Schwierigkeiten beim Entscheiden haben, gibt es leider keine Zahlen.

Bei Analphabeten kann man die Refraktionsbestimmung statt mit Buchstaben sehr gut mit Landolt-Ringen und E-Haken durchführen. Bei Probanden die Schwierigkeiten haben rechts und links auseinanderzuhalten sollte man gerade Landolt-Ringe und E-Haken vermeiden und mit Zahlen oder Buchstaben refraktionieren. Bei Entscheidungsschwierigkeiten des Probanden heißt es Geduld zu bewahren und besonders zum zügigen Raten aufzufordern. Voraussetzung ist dabei, dass man die Besonderheiten des Probanden erkennt.

4.10 Didaktik

Da es sich bei der Nutzung einer Lernsoftware um E-Learning handelt (Seel & Irfenthaler 2009), sollen hier didaktische Aspekte des E-Learnings thematisiert werden. Die allgemein bekannten Vorteile von E-Learning sind „[d]ie Unabhängigkeit des Lernens und Lehrens von Zeit und Raum“ sowie „[d]ie Individualität des Lernens“

(Seel & Irfenthaler 2009:17–18). Stoecker sieht zudem eine Zeitersparnis für den Lerner, durch individuellen Zeitaufwand für den Lernenden, die Förderung der Selbstständigkeit und eine Steigerung der Motivation durch ansprechende Gestaltung, persönliche Rückmeldung und Erfolgserlebnisse. (Stoecker 2013)

Weiter ist bei Jugendlichen zu beobachten, dass die neuen Medien „stärkere Lernanreize (Stimuli; extrinsische¹³ Motivationen) [auf diese] ausüben[,] als die klassischen Lernarrangements in Schule und Unterricht“. Laut Kron und Sofos hat E-Learning auch einen Effekt auf das selbstgesteuerte Verhalten (die intrinsische Motivation), als es die Selbstkontrolle und Selbststimulierung initiiert. (Kron & Sofos 2003:88).

Murray (1938) unterscheidet in seiner Persönlichkeitstheorie Bedürfnisse in primäre (z. B. Hunger, Durst etc.) und sekundäre Bedürfnisse (Leistungsbedürfnis, Anschlussbedürfnis und Unabhängigkeitsbedürfnis). Aus weiterer Untersuchung resultieren daraus laut McClelland (1961) als Handlungsmotive Leistungs-, Macht- und Anschlussmotiv. „Zielvorstellungen von leistungsmotivierten Personen sind die Steigerung der eigenen Leistungsfähigkeit, die gute Bewertung der eigenen Leistung im Vergleich mit einem Gütemaßstab sowie der Stolz auf Geleistetes“ (Fischer 2013:84). (Murray 1938; McClelland 1961)

E-Learning schafft somit Flexibilität hinsichtlich persönlicher Lernvorlieben. Wie in der Einleitung beschrieben, sind Studenten mit einer Lernsoftware unabhängig von Praktikumsterminen und der Verfügbarkeit von Übungspartnern (vgl. 1.1).

Es ist somit nicht verwunderlich, dass „[...] das Lernen am Bildschirm auch an Hochschulen als Schlüssel zum Erfolg betrachtet wird. In der öffentlichen Diskussion besteht allgemeiner Konsens darüber, dass, um die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Hochschulen zu sichern, die traditionelle Präsenzlehre durch E-Learning und orts- und zeitunabhängiges Online-Lernen ergänzt werden muss“ (Seel & Irfenthaler 2009:17).

¹³ „In einem gemäßigten Behaviorismus wird in diesem Zusammenhang der Begriff der Motivation mit der Unterscheidung von intrinsischer (selbstgesteuerter) und extrinsischer (außengesteuerter) Motivation eingeführt.“ (Correll, W.(1974,181ff): Pädagogische Verhaltenspsychologie. Grundlagen, Methoden und Ergebnisse der neuen Verhaltenspsychologischen Forschung. In: Kron & Sofos 2003

5 Konzeption der Software

In diesem Kapitel soll das Software-Konzept aus der Recherche über bestehende Programme (siehe Kapitel 3.4) und den Grundlagen aus Kapitel 4 entwickelt werden. Dies umfasst die Auswahl der Funktionen, die die Software später bereitstellen soll und die Gestaltung der Benutzeroberflächen.

5.1 Diskussion bestehender Programme

5.1.1 Refraktions-Simulator

Durch die Angabe des exakt berechneten Visus erhält der Benutzer ideale Angaben des Probanden. Dies ist zum Üben des theoretischen Refraktionsablaufes gut geeignet, gibt jedoch keinerlei Hilfestellung im Umgang mit echten Probanden, da der ermittelte Visus durch die Ratewahrscheinlichkeit und feste Sehzeichenabstufung viel ungenauer ist. Nachteilig ist in diesem Fall, dass es keine realistische Antwort des Probanden gibt und dass der Benutzer nicht die Möglichkeit hat, dem Probanden Fragen zu stellen, die für die Refraktion unabdingbar sind. Auf eine Bewertung zur Vorgehensweise muss der Benutzer bei diesem Programm leider verzichten.

In der Handhabung sind die weniger praktische Einstellung der Korrekturwerte über Pfeiltasten und der Kreuzzylinderstärke über einen Schieberegler zu bemängeln. Die Eingabemöglichkeit über die Zifferntastatur wäre besser. Vorteilhaft ist die Präsentation der Kreuzzylinderachsen in den Hauptrichtungen (Stiel auf Achse, Achse auf Achse und Achse senkrecht zur Achse).

Die Darstellung der Sehzeichen aus Probandensicht macht dem (emmetropen) Benutzer die Fehlsichtigkeit anschaulich.

5.1.2 Bewertung des Electric Optician PE

Das Programm Electric Optician PE bietet dem Benutzer das Trainieren einer insgesamt sehr realistischen Vorgehensweise. Dies wird unter anderem dadurch erreicht, dass der Benutzer des Electric Optician PE sein Vorgehen nach den Antworten des Probanden richtet. Die Antworten sind sogar so programmiert, dass es zu Falschantworten beim Vorschalten von Plusgläsern kommen kann. So lernt der Benutzer immerhin eine Fehlerquelle beim Refraktionieren in der Realität kennen, denn der

reelle Proband antwortet auch nicht immer so, wie es rechnerisch zu erwarten wäre. Des Weiteren machen die unbegrenzte Höhe des Refraktionsdefizit des Probanden, die Wahl der Sehzeichengröße über die Visusstufe und die Generierung des Refraktionsdefizites in 0,01 dpt Schritten bei gleichzeitiger Abstufung der Korrektionsgläser in 0,25 dpt Schritten das Programm realitätsnah und machen das Üben des Refraktionierens auch bei hohen Fehlsichtigkeiten möglich. Über das Eingabefeld „Maximalwerte“ kann die Höhe des Refraktionsdefizites des Probanden begrenzt werden, so dass das Programm auch für Anfänger geeignet ist, die erst das Ermitteln des BSG gelernt haben.

Bei der Handhabung ist die Möglichkeit der direkten Werteeingabe positiv, da dies Zeit spart. Ebenso nützlich ist die direkte Darbietungsmöglichkeit des Kreuzzylinders in allen Hauptachsen und den gängigen Stärken ($\pm 0,25$ dpt und $\pm 0,50$ dpt) per Mausklick.

Die Berechnung der benötigten Zeit pro Aktion gibt dem Benutzer eine Bewertung, die unabhängig von der Höhe der Fehlsichtigkeit des Probanden ist.

5.1.3 Bewertung des Computer Based Training

Bezüglich des Refraktions-Trainings in dem Konzept des Computer Based Training in Refraktion für Ophthalmologen kann keine Bewertung vorgenommen werden, da dem Autor kein Programm nach dem erstellten Konzept vorliegt. Das Konzept dieser Arbeit unterscheidet sich von dem Konzept des Computer Based Training nach Hitzke insoweit, dass in dieser Arbeit im Vordergrund steht, eine Routine im Refraktieren zu erlangen. Das Grund- und Hintergrundwissen wird in den Vorlesungen zur Refraktion vermittelt und für die Anwendung des Programmes vorausgesetzt. Interessant in Hitzkes Arbeit sind jedoch die Themen Pädagogik und didaktische Umsetzung sowie gestalterische Aspekte der Programmoberfläche. Einige der dort genannten Punkte werden in dieser Arbeit aufgegriffen, angepasst und vertieft.

So hat sich das Erstellen sogenannter Storyboards, das heißt Attrappen der Benutzeroberfläche, wie es in der Arbeit von Hitzke umgesetzt wurde, als sehr anschaulich erwiesen.

5.1.4 Schlussfolgerungen für die Softwarekonzeption

Auf die in der Handhabung vorteilhafte Änderung des Korrektionsglases per Eingabe über die Tastatur oder über Pfeilklicks (wie es bei beiden Programmen der Fall ist) soll zugunsten der Realitätsnähe verzichtet werden. Sinnvoller erscheint es, die Refraktionsgläser mit der Maus über den Bildschirm zu ziehen und auf der abgebildeten Messbrille abzulegen, um eine Entnahme aus dem Gläserkasten und ein Einsetzen in die Messbrille anzudeuten. In der umgekehrten Richtung soll das Ablegen des Messglases an einer anderen Stelle als der richtigen im Gläserkasten nicht möglich sein. Dies hat den pädagogischen Hintergrund, den Studenten zu vermitteln, dass zu einer zügigen Refraktion auch ein geordnetes Handwerkszeug gehört. Denn jeder, der schon einmal während der Refraktion festgestellt hat, dass Messgläser nicht an dem richtigen Platz im Gläserkasten stecken oder sogar ganz fehlen, weiß, wie störend dies ist und dass es die Refraktion unnötig verzögert. Das Gleiche gilt für die anderen Utensilien wie Kreuzzylinder und Polarisationsbrille.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass die Idee der Fragestellung des Prüfers und der anschließenden Ausgabe der Probandenantwort sowie der Bereitstellung einer Lochblende und des Hilfemenüs in dem Programm Electric Optician sehr sinnvoll ist und in modifizierter Form in das Konzept der neuen Software übernommen werden sollte. Auf der Grundlage des Zählens der Glaswechsel und der Zeitmessung kann ein Bewertungssystem für die neue Software entwickelt werden.

5.2 Funktionen

Die Software soll realistische Probanden generieren können, die Durchführung verschiedener Refraktionsmethoden ermöglichen, eine Abfrage über das weitere Vorgehen nach der Refraktion beinhalten sowie das Refraktionsprotokoll und eine abschließende Bewertung ausgeben können.

5.2.1 Erzeugung realistischer Probanden

Um eine Vielzahl virtueller Probanden mit unterschiedlichen Eigenschaften zu erhalten, ohne jeden einzelnen Probanden detailliert planen zu müssen, ist es sinnvoll, die verschiedenen Eigenschaften und Parameter von Probanden und alle möglichen Ausprägungen dieser Dimensionen festzulegen. Die Software kann dann die jeweilige Ausprägung jeder Dimension randomisiert, unter Berücksichtigung der Wahr-

scheinlichkeit, mit der die einzelnen Merkmale auftreten, zusammenstellen. Auf diese Weise entsteht eine Vielzahl verschiedener Probanden. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Prüfer den gleichen Probanden mehrfach refraktioniert, geht damit gegen Null. Die Dimensionen eines Probanden, die in der Software berücksichtigt werden sollen, sind das Alter, die Fehlsichtigkeit, der Visus, sonstige Eigenschaften des Verhaltens und Erkrankungen bzw. das Sehvermögen vermindernde Aspekte des Probanden. Sie werden mit ihren Ausprägungen im Folgenden detailliert beschrieben.

Alter

Die Festlegung des Alters erfolgt nach der Altersverteilung in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2009). So ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Software einen Probanden aus der Altersgruppe 18 - 38 Jahren auswählt, höher, als dass es einen Probanden zwischen 39 und 45 Jahren auswählt. In der nachfolgenden Tabelle ist der Anteil der festgelegten Altersgruppen an der deutschen Gesamtbevölkerung abzulesen. Des Weiteren enthält die Tabelle die zu berücksichtigenden Besonderheiten, nach denen die Altersgruppen festgelegt wurden.

Tab. 9 Altersverteilung in Deutschland nach ausgewählten Bevölkerungsgruppen

Altersgruppe [in Jahren]	Bevölkerungsanteil in Deutschland (2009)	zu berücksichtigen (bei gesunden Augen)
0 - 17	16 %	besondere Anforderungen bei Kindern durch starke Akkommodation und evtl. fehlender Lesefähigkeit
18 - 38	26 %	-
39 - 45	12 %	evtl. versteckte Hyperopie
46 - 100	46 %	altersbedingt Nahzusatz notwendig

Fehlsichtigkeit

Die Fehlsichtigkeit eines Probanden wird von der Software nach dem Vorkommen in der deutschen Bevölkerung festgelegt (vgl. Kapitel 4.2). Danach wird für die drei Altersgruppen von 18 bis 70 Jahren für die Umsetzung in der Software folgende Annahme gemacht¹⁴: 39,4 % von ihnen sind myop, 55,2 % von ihnen sind hyperop und

¹⁴ Die 63,4 % Fehlsichtigen werden als 100 % angenommen, da Rechtsichtige sehr selten zum Augenoptiker gehen, um sich refraktionieren zu lassen.

die übrigen 5,4 % haben eine rein astigmatische Fehlsichtigkeit. Von den 94,6 % Myopen und Hyperopen haben 20% zusätzlich einen Astigmatismus.

Die Fehlsichtigkeit wird durch den Wert der sphärischen Fehlsichtigkeit und durch die Werte der zylindrischen Fehlsichtigkeit und der zugehörigen Achslage festgelegt. Die Wertebereiche sollen sinnvoll begrenzt sein, auch wenn es programmiertechnisch möglich wäre, die Werte bis ins Unendliche laufen zu lassen. Da es bei der Fertigung von Korrektionsgläsern technische Grenzen gibt, soll sich der Wertebereich für die Fehlsichtigkeit an diesen Grenzen orientieren. Die stärksten Hauptschnitte des Refraktionsdefizites sollen somit in dem Bereich zwischen -40 dpt und +30 dpt liegen, der maximale Zylinderwert (Differenz zwischen zwei Hauptschnitten bei astigmatischer Fehlsichtigkeit) soll 12 dpt betragen (Vgl. Lieferprogramm Zeiss). Die Abstufung beträgt 0,01 dpt.

Des Weiteren werden für jeden Probanden, nach der Festlegung der Fehlsichtigkeit, Messwerte mit dem Autorefraktometer und alte Brillenwerte hinterlegt. Dazu wird für die Autorefraktometer-Werte die tatsächliche Refraktion leicht abgewandelt. Als Grundlage für die Berechnung der Werte dient die Studie „Funktionsprinzipien und Messgenauigkeit moderner Autorefraktometer“ von Wesemann (Wesemann 2004). Auch wenn die Probanden in der Studie lediglich eine sphärische Fehlsichtigkeit bis zwischen +3,00 dpt und -7,25 dpt aufwiesen und eine zylindrische Fehlsichtigkeit bis -2,50 dpt, erscheint es sinnvoll, diese Werte als Grundlage für die Ermittlung der Autorefraktometer-Werte für alle Probanden zu verwenden.

Akkommodation

Je nach Alter wird der maximale Akkommodationserfolg des Probanden festgelegt (siehe Tab. 4). Da in der Tabelle keine genauen Werte, sondern Wertebereiche angegeben sind¹⁵, muss der genaue Wert aus diesem Wertebereich für den einzelnen Probanden zufällig gewählt werden.

¹⁵ Dies entspricht den natürlichen Unterschieden im menschlichen Alterungsprozess bzw. ist diesen geschuldet.

Visus

Um auch hier dem Anspruch gerecht zu werden, die Software möglichst realitätsnah zu gestalten, soll die Software für den Visus Werte zwischen 2,5 und 0,02 generieren (vgl. Kapitel 4.1). Aus diesem Grund soll die Abstufung der Visuswerte in der Software möglichst fein sein. Da die Stufung von 0,01, wie sie im Programm Electric Optician verwendet wird, sich dort als sinnvoll erwiesen hat, soll der Wert in diesem Konzept übernommen werden. Die Wahrscheinlichkeit, mit der die Software einen bestimmten Visus festlegt, ist für jeden Visus gleich, da keine Statistiken über die Verteilung in Deutschland zu finden sind. Der Wertebereich für den Visus wird jedoch danach eingegrenzt, ob es sich um einen Probanden mit gesunden oder erkrankten Augen handelt und welches Alter der Proband hat.

Für jeden Probanden wird der maximal erreichbare Visus cc festgelegt. Bei gesunden Probanden wird der Wert nach Tab. 3 festgelegt. Im Falle einer Augenerkrankung ist der maximale Visus $\leq 0,8$.

Augenerkrankungen und andere Aspekte

Da es nicht selten der Fall ist, dass Augenoptik-Studenten, im Praxissemester oder im späteren Arbeitsleben, Refraktionen an Kunden bzw. Patienten durchführen, deren Augen nicht jung und gesund sind, soll das Konzept für die Software Veränderungen an den Augen berücksichtigen, die zu einer Visusminderung oder Schwierigkeiten bei der Refraktion führen können.

Wie in Kapitel 4.8 beschrieben, ist es nicht möglich eine Diagnose anhand einer bloßen Refraktion zu stellen. Um jedoch die Wahrnehmung der Refraktionierenden für Auffälligkeiten zu schulen, soll es nach Abschluss der Refraktion eine kurze Abfrage zu Auffälligkeiten und dem weiteren Vorgehen geben. Es geht jedoch mehr um häufige Symptome und Kriterien nach denen der Proband zu einer Risikogruppe gehört.

Über die Häufigkeit mit der bestimmte Erkrankungen in den einzelnen Altersgruppen in der Bevölkerung auftreten lassen sich keine genauen Angaben machen (vgl. Kapitel 4.8), deshalb werden die ausgewählten Auffälligkeiten mit gleicher Wahrscheinlichkeit von der Software ausgewählt.

Tab. 10 Auffälligkeiten, Umsetzung in der Software und resultierende Maßnahmen

Auffälligkeiten	Umsetzung in der Software	resultierende Maßnahme
Fehlsichtigkeit über $\pm 5,0$ dpt	Refraktionsdefizit über $\pm 5,0$ dpt	Umrechnung des HSA
starke Refraktionsänderung in kurzer Zeit	alte Brillenwerte weichen stark von aktueller Korrektur ab	Empfehlung zu augenärztlicher Untersuchung
optisch nicht korrigierbares Problem	Visus gering, stenopäische Blende bringt keine Besserung	Empfehlung zu augenärztlicher Untersuchung
geringer Visus	Visus gering	Empfehlung zu augenärztlicher Untersuchung
Proband über 40 Jahre alt	Probandenalter über 40 Jahre	Empfehlung zu augenärztlicher Untersuchung

In der Software soll dieser Aspekt der Augenerkrankungen bzw. das Sehvermögen verringern den Aspekten so umgesetzt werden, dass zum einen die stenopäische Blende bzw. Lochblende einsetzbar ist und zum anderen der Benutzer am Ende der Refraktion abgefragt wird, ob er bei dem Probanden Auffälligkeiten bemerkt hat. Wenn dies der Fall ist, soll festgehalten werden, welche Auffälligkeiten er bemerkt hat und was daraus resultieren sollte (siehe Tab. 10).

Um im Rahmen dieser Abfrage Aussagen treffen zu können, muss der Proband die alten Brillenwerte abrufen, gegebenenfalls die Lochblende verwenden sowie das Alter und die Refraktion des Probanden auswerten. Anwendung findet die Abfrage jedoch nur bei der höchsten Schwierigkeitsstufe, da bei den Schwierigkeitsstufen 1 und 2 eventuelle Auffälligkeiten noch keine Rolle spielen.

Es erfolgt zunächst eine Abfrage, ob es überhaupt Auffälligkeiten gab. Falls nicht werden die weiteren Fragen deaktiviert. Falls der Prüfer angibt, Auffälligkeiten bemerkt zu haben, kann er angeben, ob es sich um eine höhere Fehlsichtigkeit handelt, die die Berücksichtigung des Hornhautscheitelabstandes notwendig macht, oder ob es sich um eine starke Refraktionsänderung in kurzer Zeit, ein optisch nicht korrigierbares Problem der Augen, einen nicht altersgerechten Visus oder einen über 40 Jahre alten Probanden handelt und somit die Empfehlung zu einer augenärztlichen Untersuchung erfolgen sollte.

Die Simulation eines optisch nicht korrigierbaren Problems wird in der Software erreicht, indem das Vorschalten der stenopäischen Blende keine Wirkung hat. Zusätzlich werden bei Abfrage der Autorefraktometer-Werte keine Werte ausgegeben, stattdessen öffnet sich eine Message-Box mit dem Hinweis, dass die Werte fehlerhaft sind. Ein hohes Refraktionsdefizit wird durch eine entsprechende Festlegung des Refraktionsdefizites erreicht. Für die Simulation einer starken Refraktionsänderung ist eine stärkere Abweichung der alten Brillenwerte von der richtigen Korrektur zu wählen und das Alter der Brille möglichst gering. Ein geringer Visus wird ganz einfach durch die entsprechende Festlegung des Visus erreicht, ebenso wie ein Proband über 40 durch die Festlegung des Alter > 40 erzeugt wird.

Eigenschaften mit Auswirkungen auf das Probandenverhalten

Da der Prüfer nur die Antwort des Probanden ausgegeben bekommt, den Probanden aber nicht sieht und somit auch nicht dessen Verfassung und Verhalten, beispielsweise an der Körpersprache und dem Blickkontakt, deuten kann, lassen sich nicht alle Probandeneigenschaften in der Software umsetzen. Es soll hier eine Auswahl getroffen werden, die den Prüfer schulen soll, auf besondere Eigenschaften zu achten und entsprechende Konsequenzen (siehe Tab. 11) zu ziehen.

Die ausgewählten Varianten von Probandeneigenschaften sind in Tab. 11 aufgeführt. Ebenso finden sich dort das Verhalten bezüglich der Refraktion und die Anforderungen die daraus für den Prüfer resultieren.

Tab. 11 Verhaltensweisen und Problemstellungen bzgl. verschiedener Probandentypen und damit verbundene Anforderungen an den Refraktionierenden

Eigenschaften	Verhalten	Anforderungen an den Prüfer
ohne besondere Eigenschaften	keine Auffälligkeiten im Verhalten	normales Vorgehen
kann sich nicht entscheiden	will anderes Glas nochmal sehen	Geduld bewahren; Gläser nochmal vorhalten; zu schnellerer Entscheidung animieren; bei Sehzeichen zum zügigen Raten ermuntern
verwechselt rechts mit links	vertauscht bei Angaben rechts und links	Refraktion mit Buchstaben oder Zahlen durchführen; Richtung der Öffnung oder Striche per Handzeichen anzeigen lassen
hört schlecht	antwortet verzögert, Fragt nach/zwischen	Fragen/Anweisungen wiederholen

Je nach Schwierigkeitsstufe wird dem Probanden eine besondere Eigenschaft zugeordnet. Für die Umsetzung in der Software bedeutet dies, dass sich für die beschriebenen Probandentypen neue Antwortmöglichkeiten zusätzlich zu den Antworten „normaler“ Probanden ergeben.

Der Proband, der sich nicht entscheiden kann, welcher Seheindruck besser ist, fragt statt einer Antwort gelegentlich: „Kann ich das andere Glas nochmal sehen?“. Ein Proband der schlecht hört, fragt oft noch einmal nach oder gibt eine unpassende Antwort, weil er die Frage nicht richtig verstanden hat. Bei einem Probanden mit dieser Eigenschaft müssen statt der richtigen Antwort gelegentlich die Fragen „Was haben Sie gesagt?“ und „Haben Sie etwas gesagt?“ ausgegeben werden. Diese Eigenschaft sollte, aufgrund der höheren Prävalenz von Schwerhörigkeit, ab einem Alter von 46 Jahren berücksichtigt werden. Der Proband, der rechts und links vertauscht, gibt bei Landolt-Ringen und E-Haken in 50 % der Fälle statt rechts links an und statt links rechts. Die Antworten bei Buchstaben und Zahlen sind regulär.

Vorinformationen

Wie in Kapitel 4.4 beschrieben wird die Information aus einer objektiven Refraktion oder alten Brille teilweise als Voraussetzung für eine gute Refraktion vorausgesetzt.

Die Informationen zum Alter und Stärke der Brille hängen von dem Zustand der Augen des Probanden ab. Handelt es sich um gesunde Augen, so entsprechen die Werte einer aktuellen Brille in etwa denen der Fehlsichtigkeit. Bei einer Augenerkrankung, die eine schnelle Visusabnahme oder stark schwankende Refraktion verursacht, weichen die Werte der Brillengläser stärker von der Fehlsichtigkeit des Probanden ab.

Ebenso verhält es sich mit den Autorefraktometer-Werten. Bei gesunden Probanden entsprechen sie mit leichten Abweichungen der Fehlsichtigkeit des Probanden, bei starker Medientrübung der Augen wird die Meldung: „Fehlerhafte Messung“ ausgegeben.

5.2.2 Auswahl der Refraktionsmethoden

Mit der Software sollen die in Kapitel 4.5 beschriebenen Refraktionsmethoden und Tests (Kreuzzylindermethode, Zylindernebelmethode, Rot-Grün-Test und einfacher sukzessiver Feinabgleich mit Prüfgläsern) durchführbar sein, da es die gängigsten Refraktionsmethoden sind. Folglich werden ein simultaner und ein sukzessiver Test zum monokularen sphärischen Feinabgleich bereit gestellt. Die in den Hinweisen nur als sukzessiv und simultan bezeichneten Methoden verlangen von dem Benutzer, dass er diese unterscheiden und den Tests zuordnen kann.

Da Stiel-Kreuzzylinder in den Stärken $\pm 0,12$ dpt, $\pm 0,25$ dpt, $\pm 0,50$ dpt, $\pm 1,00$ dpt im Handel erhältlich sind, die Stärke $\pm 0,12$ dpt aber in der Praxis sehr selten benötigt wird, soll es in der Software die Auswahl zwischen den drei gängigen Stiel-Kreuzzylindern geben. (Diepes 2004)

Entscheidend für das Software-Konzept ist es, bei jeder Visusstufe fünf Optotypen anzubieten, da der Schwerpunkt in dem Konzept nicht auf Sehschärfeprüfungen zu gutachterlichen Zwecken liegt, sondern auf der Ermöglichung der Durchführung verschiedener Refraktionsmethoden bei allgemeinen Sehschärfeprüfungen. Fünf Optotypen darzubieten entspricht der DIN-Norm für allgemeine Sehtests. (DIN 2013)

5.2.3 Kommunikation mit dem Probanden

Die Kommunikation mit dem Probanden erfolgt über die Auswahl von Fragen, Anweisungen und Hinweisen auf der Softwareoberfläche. Die Antwort des Probanden ist von der Berechnung seiner Sehschärfe (siehe 5.6) und seinen besonderen Eigenschaften (siehe Tab. 11) abhängig und wird ebenso in einem Fenster auf der Softwareoberfläche ausgegeben.

Für den Fall, dass der Proband keine besonderen Eigenschaften hat, sind die Probandenantworten und Reaktionen, je nach berechnetem Seheindruck in Tab. 12 zu finden. Die zusätzlichen Antwortmöglichkeiten von Probanden mit besonderen Eigenschaften finden sich unter Eigenschaften mit Auswirkung auf das Probandenverhalten in Kapitel 5.2.1.

Tab. 12 Fragen/ Anweisungen und Antwort-/ Reaktionsmöglichkeiten des Probanden

G1-1) Wird der Seheindruck mit dem nächsten Glas schlechter?	
Visus mit Glas schlechter	ja
Visus mit Glas besser	nein, besser; nein
G1-2) Wird der Seheindruck mit dem nächsten Glas besser?	
Visus mit Glas schlechter	nein, schlechter; nein
Visus mit Glas besser	ja
G1-3) Wird der Seheindruck mit dem nächsten Glas wieder besser?	
Visus mit Glas schlechter	nein, schlechter; nein
Visus mit Glas besser	ja
G1-4) Wird es mit dem nächsten Glas besser, oder sind die Zeichen nur kleiner und schwärzer?	
Visus mit Glas besser	es wird besser
Proband akkommodiert	es wird schwärzer
Visus mit Glas schlechter	es wird nicht besser
G1-5) Ist der Seheindruck mit Glas 1 oder Glas 2 besser, oder ist kein großer Unterschied zu erkennen?	
Visus mit Glas 1 ist besser	Glas 1 ist besser
Visus mit Glas 2 ist besser	Glas 2 ist besser
Abweichung des Visus zwischen Glas 1 und Glas 2 weniger als 1 Visusstufe	Ich erkenne keinen Unterschied
G1-6) Sehen Sie mit dem nächsten Glas eine Strichgruppe schwärzer als die Anderen?	
Astigmatismus	Ja, in Richtung...; Ja
kein Astigmatismus	Nein;
G1-7) In welcher Richtung sind die Striche schwärzer?	
Astigmatismus	Proband gibt Strichrichtung der Minuszylin-derachse an oder Pluszylinderachse + 90°
kein Astigmatismus	Alle Striche sind gleich schwarz
G1-8) Werden die schwärzeren Striche m. d. nächsten Glas noch deutlicher?	
stärker negativer Brechwert geringer	ja
stärker negativer Brechwert höher	nein
G1-9) Haben die schwärzeren Striche mit dem nächsten Glas die gleiche Richtung wie zuvor?	
Achse weniger als 10° geändert	Ja
Achse mehr als 10° geändert	Nein
G1-10) Bitte blicken sie auf das grüne Testfeld und vergleichen Sie das große Zeichen mit dem entsprechenden Zeichen im roten Feld. Blicken Sie dabei nur kurz auf das rote Feld und sofort wieder auf das grüne Feld zurück. Besteht ein deutlicher Unterschied in der schwärze der Sehzeichen?	
Proband myop	Die Zeichen Im roten Feld sind schwärzer
Proband hyperop	Die Zeichen im grünen Feld sind schwärzer

Proband emmetrop	Die Zeichen sind gleich schwarz
G1-11) Bitte lesen Sie, was Sie sehen!	
Proband erkennt $\leq 12,5\%$ der Zeichen	Ich kann nichts erkennen
Proband erkennt $> 12,5\%$ der Zeichen	Proband liest die Sehzeichen richtig vor, die er laut Psychometrischer Funktion erkennt.
G1-12) Dem Probanden einen Moment Zeit geben, um sich auf das Glas einzustellen.	
alle Probanden	ok
G1-13) Der Seheindruck kann mit dem nächsten Glas schlechter werden. Vergleichen Sie bitte trotzdem die beiden Seheindrücke!	
alle Probanden	ok

Sehr wichtig ist es, den Probanden mit den Hinweisen (siehe Tab. 13) über jeden Schritt der Refraktionsbestimmung zu informieren, da dies die Voraussetzung für die Bewertung der richtigen Reihenfolge der Refraktionsbestimmung ist. Dies hat außerdem den Vorteil, dass das Bewusstsein des Refraktionierenden für den gerade durchgeführten Refraktionsschritt geschult wird und der Proband weiß, was als nächstes passiert.

Tab. 13 Hinweise zum Refraktionsablauf

G2-1) Ich decke Ihr linkes Auge ab!	
alle Probanden	ok
G2-2) Ich decke Ihr rechtes Auge ab!	
alle Probanden	ok
G2-3) Ich bestimme nun Ihre Sehschärfe!	
alle Probanden	ok
G2-4) Ich bestimme nun das beste sphärische Glas!	
alle Probanden	ok
G2-5) Ich führe nun die Zylindernebelmethode durch!	
alle Probanden	ok
G2-6) Ich führe nun die Kreuzzylindermethode durch!	
alle Probanden	ok
G2-7) Ich führe nun den sphärischen Feinabgleich durch!	
alle Probanden	ok

Die Reaktion aller Probanden ohne besondere Eigenschaften auf diese Frage ist immer „ok“. Diese Ausgabe, die lediglich eine Bestätigung ist, ist für die Umsetzung des Konzeptes notwendig.

5.3 Didaktische Umsetzung

Das Menü der Software soll drei verschiedene Schwierigkeitsstufen beinhalten, die der Nutzer frei wählen kann. Dies ist didaktisch sinnvoll, da es dem Benutzer die individuelle Nutzung nach seinem Lernstand ermöglicht (vgl. Kapitel 4.10).

Je höher die gewählte Schwierigkeitsstufe, umso mehr Funktionen kommen dazu und umso größer ist der Wertebereich, aus dem die Software die Eigenschaften des Probanden wählt.

Schwierigkeitsstufe 1 ist für Anfänger gedacht, die den Ablauf der Refraktionsbestimmung an einfachen Probanden, das heißt Probanden mit gesunden Augen und einer geringen Fehlsichtigkeit, üben möchten. In Schwierigkeitsstufe 1 wird das Probandenalter somit aus dem Bereich von 18 bis 38 Jahren gewählt, da der virtuelle Proband in diesem Alter noch keine Probleme beim Nahsehen aufweist. Des Weiteren werden für den Probanden keine besonderen Eigenschaften, die der Prüfer berücksichtigen müsste und keine Augenerkrankungen festgelegt. Die Option des Abrufs von Vorinformationen gibt es in Schwierigkeitsstufe 1 nicht, damit der Anfänger auch ein Gefühl für die Glasabstufung bekommt. Diese Schwierigkeitsstufe ist in der Software voreingestellt.

Schwierigkeitsstufe 2 ist für Fortgeschrittene gedacht, die schon etwas Routine bei der Refraktion von Probanden mit geringen Fehlsichtigkeiten haben. Der Wertebereich aus dem die Fehlsichtigkeiten gewählt werden ist größer als bei Schwierigkeitsstufe 1 und ebenso der Bereich für das Probandenalter. Da der Proband aus der Altersgruppe von 18 - 45 Jahren ausgewählt wird, kann es sein, dass der Proband eine versteckte Hyperopie hat, die sich auf das Nahsehen auswirkt, obwohl das Problem eigentlich die mangelnde Fernrefraktion ist. Die Eigenschaft, die in dieser Schwierigkeitsstufe hinzukommt, ist, dass der Proband die Akkommodation nicht loslässt, weil durch das ständige Akkommodieren für die Ferne eine Art Akkommodationskrampf entstanden ist. Auch in dieser Schwierigkeitsstufe muss der Prüfer nur gesunde Augen refraktionieren.

In Schwierigkeitsstufe 3 kann der Proband alle Eigenschaften haben, die in der Software umzusetzen sind. Die Werte der Fehlsichtigkeit werden aus dem vollen Wertebereich ausgewählt (vgl. Kapitel 4.2). Ebenso wird das Alter aus dem Bereich von 18

- 100 Jahren gewählt. Zusätzlich kommt in Schwierigkeitsstufe 3 hinzu, dass der Proband eine Augenerkrankung oder einen anderen Aspekt, der zur Visusminderung führen kann, aufweisen kann und eventuell besondere Eigenschaften im Verhalten zeigt, die ein besonderes Vorgehen vom Prüfer verlangen.

In folgender Tabelle (Tab. 14) sind die Wertebereiche der berücksichtigten Probandenparameter für alle drei Schwierigkeitsstufen zusammengefasst.

Tab. 14: Einteilung der Wertebereiche verschiedener Eigenschaften in Schwierigkeitsstufen

Schwierigkeitsstufen/ Eigenschaften	1	2	3
Alter [Jahre]	18 - 38	18 - 45	18 - 100
max. Akkommodations- erfolg [dpt]	3,25 - 16,25	1,25 - 16,25	0,25 - 16,25
Fehlsichtigkeit sph. [dpt]	+4,00 bis -4,00	+10,00 bis -10,00	+40,00 bis -30,00
Fehlsichtigkeit zyl. [dpt]	0 bis -2,00	0 bis -5,00	0 bis -12,00
Visus	0,8 bis 2,5	0,8 bis 2,5	0,02 bis 2,5
sonstige Eigenschaften	keine	lässt Nahakkom- modation nicht los	alle
Diagnose	gesunde Augen	gesunde Augen	alle

Um einen Leistungsanreiz für leistungsmotivierte Studenten zu bieten, gibt es eine Art Bestenliste, in die sich jeder eintragen kann und die sich nach Fehleranzahl oder Dauer der Refraktion sortieren lässt. Mit dieser können die Benutzer die eigene Leistung mit anderen Benutzern vergleichen und die eigenen Fortschritte überprüfen. Eine weitere Funktion mit der der Lernfortschritt überprüft werden kann, ist die Ausgabe verschiedener Fehlerbeschreibungen, die der Proband in eine Datei speichern kann, um sie nach der nächsten Refraktion zum Vergleich heran ziehen zu können.

5.4 Bewertung

Da der Verlauf einer Refraktion sehr stark vom Verhalten des Probanden abhängt sowie von seiner Fehlsichtigkeit und seinen sonstigen Eigenschaften, ist es wichtig, ein bzw. mehrere davon unabhängige Kriterien zur Bewertung der Refraktion zu bestimmen. Auf diese Weise kann auch ein fairer Wettbewerb unter den Benutzern der Software stattfinden und eine Art Bestenliste erstellt werden.

Als Basis für die Bewertung der Refraktion soll die gemessene Dauer zwischen der Antwort des Probanden und dem nächsten, von dem Prüfer durchgeführten Refraktionsschritt gelten. Die im folgenden Text als „Reaktionszeit“ bezeichnete Zeitspanne ist ein von dem Probandenverhalten weitestgehend unabhängiges Bewertungskriterium und gibt Auskunft darüber, wie lange der Prüfer braucht, um den nächsten Schritt durchzuführen. Je sicherer der Prüfer in seiner Vorgehensweise ist, desto kürzer seine Reaktionszeit. Des Weiteren spielt die Zeit, die eine Refraktion in Anspruch nimmt, in Augenoptik-Unternehmen eine wichtige Rolle, da umso mehr Kunden refraktioniert werden können, je kürzer die einzelne Refraktion dauert¹⁶.

In dem Bewertungsfenster werden die ermittelten Werte, die für die Bewertung relevant sind, angezeigt. Die Bewertung soll die Dauer der Refraktion, die maximale Reaktionszeit und die Ausgabe der Fehlerpunkte umfassen. Die Optionen, die für die Dauer der Refraktion relevant sind, sollen mit einem Kürzel hinter der Zeitangabe für die Dauer der Refraktion vermerkt werden. Es gibt Kürzel für Vorinformationen (V), monokularen sphärischen Feinabgleich (F), Schwierigkeitsstufe (1,2 oder 3) und maximal geprüften Visus (z. B. 1,0). Des Weiteren sollen die Fehlerkennziffern samt Beschreibung (Textbaustein) der Fehler als Protokoll ausgegeben werden.

Weiter wird die Abweichung der ermittelten Korrektur von der benötigten Korrektur angegeben, die sich aus den Differenzen von Sphäre, Zylinderstärke und Zylinderachse zusammensetzt. Da das Refraktionsdefizit des Probanden in 0,01 dpt Stufung festgelegt wird, dem Prüfer aber nur Refraktionsgläser in 0,25 dpt Stufung zur Verfügung stehen, wird es in den meisten Fällen Abweichungen geben. Aus diesem Grund gibt es nur Punktabzug bei der Bewertung, wenn eine kleinere Abweichung zur benötigten Korrektur zu erreichen gewesen wäre.

Da die Gewichtung von Fehlern bei der Refraktionsbestimmung zum Teil Geschmackssache ist und eine Erhebung mit „Refraktions-Profis“ notwendig wäre, um dies differenziert und sinnvoll vorzunehmen, wird in diesem Konzept zunächst jeder Fehler gleich gewichtet. Auf diese Weise ist die Fehlerbewertung zumindest quantitativ richtig. Für eine Abweichung der ermittelten Korrektur von der richtigen Korrektur wird aus diesem Grund nur jeweils ein Fehler für Sphäre, Zylinder und Achse

¹⁶ Als Orientierungswert gibt Diepes in „Refraktionsbestimmung“ für die subjektive Refraktionsbestimmung des Einzelauges 8 Minuten an.

vermerkt, auch wenn für eine bessere Qualität der Bewertung die Höhe der Abweichung berücksichtigt werden müsste.

Die Nutzung von Fehlerkennziffern ist gut geeignet um die Software unkompliziert in anderen Sprachen anbieten zu können. Außerdem ist dies sehr sinnvoll für Benutzer, die öfter mit dem Programm arbeiten und die Fehlerkennziffern schon kennen. Ihnen reicht dann die Ausgabe kurzer Fehlerkennziffern um zu wissen, welche Teile der Refraktion noch verbesserungsfähig sind.

Im Folgenden ist die Kurzbeschreibung der Fehler mit entsprechenden Fehlerkennziffern bezeichnet, die in der Software umgesetzt werden sollen (vgl. Kapitel 4.5.6.).

- #1 Abfrage der Vorinformationen zu Beginn vergessen
- #2 Abdecken des Auges vergessen
- #3 Abdecken des anderen Auges als angekündigt
- #4 Fehler bei der Bestimmung des Visus
- #5 Fehler bei der Bestimmung des BSG
- #6 Minus ohne Visusanstieg gegeben
- #7 Fehler bei der Durchführung der Zylindernebelmethode
- #8 Fehler bei der Durchführung der Kreuzzylindermethode
- #9 Sphärische Korrektur beim Vorschalten von Zylindern vergessen
- #10 Falsche Handhabung des Kreuzzylinders
- #11 Tendenzbefragung falsch durchgeführt oder vergessen
- #12 Hinweis, dass es mit Kreuzzylinder schlechter werden kann, vergessen
- #13 Fehler bei der Durchführung des monokularen sphärischen Feinabgleichs
- #14 Stufung der Messgläser falsch gewählt
- #15 Falsche Wahl der Sehzeichen (Art oder Größe)
- #16 Refraktionsschritt vollständig vergessen
- #17 Nur ein Auge refraktioniert
- #18 Ermittelte Sphäre weicht um ... ab

- #19 Ermittelter Zylinder weicht um ... ab
- #20 Ermittelte Achse weicht um ... ab
- #21 Ermittelter Visus weicht um ... ab
- #22 Hohe Fehlsichtigkeit nicht bemerkt
- #23 Starke Refraktionsänderung nicht bemerkt
- #24 Optisch nicht korrigierbares Problem nicht bemerkt
- #25 Geringen Visus nicht bemerkt
- #26 Probandenalter nicht berücksichtigt
- #27 Maßnahmen falsch beurteilt
- #28 Falsche Reihenfolge der Refraktionsschritte
- #29 Schätztabelle zur Hilfe genommen
- #30 Falsche Frage gestellt
- #31 Proband falsch eingeschätzt
- #32 Erst Glas vorgehalten, dann Frage gestellt

Fehler durch manipulative Befragung sind in der Software nicht möglich, da der Wortlaut der Fragen festgelegt ist.

5.5 Gestaltung der Software-Oberflächen

Die in Kapitel 5.1.3 beschriebene Storyboard-Technik zur Visualisierung der Bildschirmoberflächen wird auch in dieser Arbeit angewendet. Die Storyboards wurden mit einem einfachen Bildbearbeitungsprogramm als jpg-Datei erstellt. Sie dienen dazu, dem Leser und später dem Programmierer den Aufbau der Benutzeroberflächen näher zu bringen. Das Programm besteht aus fünf Fenstern. Jedem Bedienelement und jedem Anzeigefeld auf der Oberfläche der Fenster ist eine Kurzbezeichnung zugeordnet. Ebenso ist für jedes Bedienelement ein Flussdiagramm hinterlegt, in welchem der Programmablauf festgelegt ist, der durch einen Mausklick auf das Element gestartet wird. Die Bezeichnung der Flussdiagramme deckt sich mit den Kurzbezeichnungen der Elemente. Eine Liste mit allen Kurzbezeichnungen findet sich im Anhang (11.3). Ebenso finden sich dort die Flussdiagramme (11.4) und die Darstellung der Oberflächen mit Beschriftung der Bedienelemente und Anzeigefelder (11.2).

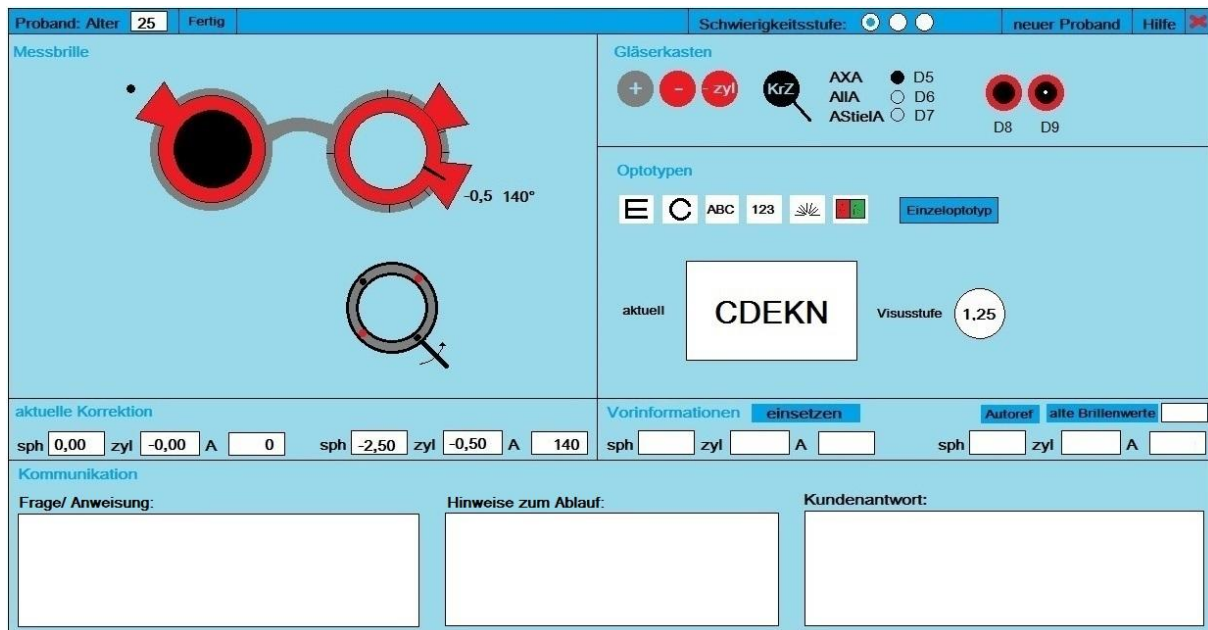


Abb. 14 Entwurf der Software-Oberfläche für Fenster 1

Um der Software eine übersichtliche Gestaltung zu geben, besteht sie im Wesentlichen aus einer einzigen Oberfläche, auf der alle Funktionen direkt sichtbar sind. In der Menüleiste befinden sich die Anzeige des Probandenalters, die Auswahlmöglichkeit für die Schwierigkeitsstufe, der Knopf, um einen neuen Probanden zu generieren, und der Knopf zum Schließen des Programmes.

Die sonstige Oberfläche der Software ist in die verschiedenen Bereiche gegliedert, auf die das Augenmerk des Prüfers während der Refraktion gerichtet sein kann. Diese sind optisch durch Linien voneinander getrennt und mit einem Oberbegriff bezeichnet.

Der erste Bereich ist der Augenbereich des Probanden mit der aufgesetzten Messbrille und somit den vorgeschalteten Messgläsern und/oder vorgehaltenem Kreuzzylinder (auf der Oberfläche „Messbrille“ bezeichnet), der zweite Bereich ist der Gläserkasten (auch auf der Oberfläche „Gläserkasten“ bezeichnet), der dritte Bereich umfasst die Sehtafeln samt Fernbedienung (auf der Oberfläche mit „Optotypen“ bezeichnet) und der vierte Bereich beinhaltet die Kommunikation mit dem Probanden (auf der Oberfläche mit „Kommunikation“ bezeichnet).

Des Weiteren gibt es noch zwei abgegrenzte Bereiche. In einem kann der Prüfer die Zahlenwerte der sich jeweils aktuell in der Messbrille befindenden Gläser („aktuelle

Korrektion“) ablesen. In dem anderen Bereich werden simulierte alte Brillenwerte oder Werte aus einer Autorefraktometer-Messung („Vorinformationen“) angezeigt.

Mit Dropdown-Menüs wird eine gute Übersichtlichkeit mit einer guten Handhabung (schnelle Wahlmöglichkeit) kombiniert. Diese finden Anwendung bei der Wahl der Messgläser, bei der Wahl der Visusstufe, der Optotypen und für die Wahl von Fragen und Anweisungen. Das Dropdown-Menü von Plus- und Minusgläsern und Zylindergläsern enthält jedes Prüfglas in doppelter Ausführung, wie es in handelsüblichen Gläserkästen der Fall ist. Um die Software-Oberfläche weitestgehend auch selbsterklärend zu gestalten, orientiert sich die Gestaltung der Bereiche „Messbrille“ und „Gläserkasten“ an der entsprechenden DIN-Norm (Kennzeichnung von Refraktionsgläsern - DIN EN ISO 9801).

5.5.1 Optionsfenster

In Fenster 4 (Optionswahl; siehe Abb. 15) kann der Benutzer die Schwierigkeitsstufe auswählen und festlegen, ob ein monokularer sphärischer Fernabgleich durchgeführt (und damit auch bewertet) werden soll oder nicht. Außerdem wird festgelegt, ob die Abfrage von Vorinformationen gewünscht ist und welches die maximale Visusstufe ist, für die entsprechende Optotypen gewählt werden können.

Schwierigkeitsstufe	1	2	3
monokularer sphärischer Fernabgleich	ja	nein	
Abfrage objektiver Vorinformationen	ja	nein	
maximal prüfbarer Visus	1,0		

Abb. 15 Entwurf für das Fenster Optionen (Fenster 4)

Die Option der Schwierigkeitsstufen ergibt sich aus den individuellen Lernbedürfnissen der Benutzer.

Aufgrund der unterschiedlichen Ansichten über den monokularen sphärischen Feinabgleich (vgl. Kapitel 4.5.4) ist dieser als Option wählbar oder nicht. Für den Fall, dass er nicht durchgeführt werden soll, wird das Weglassen auch nicht negativ bewertet.

Die Abfrage der objektiv ermittelten Refraktion wird nicht wie beim Refsim7 negativ gesehen (Erhöhung der Anzahl der Glaswechsel um 100). Vielmehr zählt die Berücksichtigung der objektiv ermittelten Refraktion zu den Voraussetzungen für eine gut durchgeführte Refraktion. Es soll die Möglichkeit geben, für Vorkenntnisse die Werte einer Autorefraktometer-Messung abzurufen und sich die Korrektionswerte einer alten Brille anzeigen zu lassen. Aufgrund dessen, dass die Software auch das Üben ohne Vorkenntnisse ermöglichen soll, ist die Abfrage objektiver Vorinformationen optional.

5.5.2 Hilfemenü

Das Fenster 3 (Hilfemenü; siehe Abb. 16) enthält drei Schätztabellen. Diese sind für die Glasabstufung sphärischer und zylindrischer Gläser sowie das Nebelglas für die Zylindernebelmethode. Die Tabellen sind dazu gedacht, dem Anfänger eine Hilfestellung zu geben, wenn er die Werte noch nicht auswendig abschätzen kann. In der Literatur finden sich viele verschiedene Stufungs- und Schätztabellen, die sich jedoch nur unwesentlich unterscheiden. Die zu verwendenden Tabellen sind im Zusammenhang in Kapitel 4.2 abgebildet. Für das Aufrufen des Hilfemenüs gibt es jedoch jedes Mal einen Fehlerpunkt und es schließt sich, sobald die Refraktion weiter durchgeführt wird.

Da das Hilfemenü des Weiteren eine kurze Einweisung in das Programm enthalten soll, führt das Öffnen des Fensters vor dem Beginn der Refraktion (über die Menüleiste) nicht zu einem Fehlerpunkt.

Sobald die Software für die Nahprüfung erweitert wurde, ist auch die Bereitstellung von Schätztabellen für den Nahzusatz sinnvoll und weitere Hilfestellungen, die für andere zusätzliche Funktionen gebraucht werden.

Hilfemenü/Schätztabellen

sphärische Gläser (nach Lachenmayr)

Visus	Glasabstufung [dpt]
unter 0,05	2,00
0,05 - 0,2	1,00
0,2 - 0,5	0,50
über 0,5	0,25

Zylindergläser (nach Lachenmayr)

Visus	Glasabstufung [dpt]
0,05 - 0,2	2,00
0,2 - 0,7	1,00
0,7 - 1,0	0,50
über 1,0	0,25

Nebelgläser (nach Lachenmayr)

Visus	Nebelglas [dpt]
0,05 - 0,2	1,50
0,2 - 0,7	1,00
0,7 - 1,0	0,75
über 1,0	0,50

Abb. 16 Entwurf für das Hilfemenü (Fenster 3)

5.5.3 Einschätzung des Probanden

Das Fenster 5 (Einschätzung des Probanden; siehe Abb. 17) ist dazu gedacht, den Prüfer zu Auffälligkeiten bei dem Probanden und daraus resultierendem Vorgehen zu befragen (Vgl. 5.2.1, Augenerkrankungen).

Die Abfrage erfolgt in einer Art Multiple-Choice-Test. Die erste Frage nach Auffälligkeiten kann mit ja oder nein beantwortet werden. Wählt der Prüfer „nein“, so werden alle anderen Felder inaktiv. Wählt der Prüfer „ja“, wird er als nächstes gefragt, welche Auffälligkeiten er wahrgenommen hat. Dabei kann er aus den Optionen „Fehlsichtigkeit über $\pm 5,0$ dpt“, „starke Refraktionsänderung in kurzer Zeit“, „optisch nicht korrigierbares Problem“, „Visus nicht altersgerecht“ und „Proband über 40 Jahre alt“ wählen.

Für die Maßnahmen, die daraus erfolgen müssen, gibt es die Option „Berücksichtigen des Hornhautscheitelabstandes“, die bei höheren Fehlsichtigkeiten notwendig ist, und die Option „Empfehlung zu augenärztlicher Untersuchung“, die in allen anderen Fällen notwendig ist, da der Proband zu einer Risikogruppe gehört oder offensichtlich ein Problem mit den Augen hat.

Einschätzung des Probanden

Gab es Auffälligkeiten bei der Refraktion?

Wenn ja, welche?

- ☐ Fehlsichtigkeit über +/- 5 dpt
- ☐ starke Refraktionsänderung in kurzer Zeit
- ☐ optisch nicht korrigierbares Problem der Augen
- ☐ geringer Visus
- ☐ Patient über 40 Jahre alt

Welche Maßnahmen sind notwendig?

- ☐ Berücksichtigen des Hornhautscheitelabstandes
- ☐ Empfehlung zu augenärztlicher Untersuchung

Bewertung

Abb. 17 Entwurf für das Fenster zur Einschätzung des Probanden (Fenster 5)

5.5.4 Bewertungsfenster

Sobald der Prüfer in Fenster 5 auf den Button „Bewertung“ geklickt hat, ist das Vorgehen des Benutzers vollständig abgeschlossen und Fenster 4 (Bewertung; siehe Abb. 18) wird geöffnet.

The screenshot shows a software window titled "Bewertung". It has a light blue header bar. On the left, there's a panel titled "Fehlerprotokoll" with a sub-button "in Datei schreiben" and a large empty white box. On the right, the "Bewertung" panel contains three input fields for "Dauer der Refraktion", "maximale Reaktionszeit", and "Fehlerpunkte". Below these is a "Bestenliste" section featuring a table with four columns: "Name", "Fehlerpunkte", "Dauer d. Refra", and "maximale Reaktionszeit". The table is currently empty. At the bottom of the right panel, there is a "Name:" input field, a "Hinzufügen" button, and another "in Datei schreiben" button.

Abb. 18 Entwurf für das Fenster Bewertung (Fenster 4)

Es gibt einen Überblick über die Dauer der Refraktion, die maximale Reaktionszeit und die Fehlerpunkte des Benutzers. Über die Dauer der Refraktion, die Fehlerpunkte und die maximale Reaktionszeit gibt es eine Bestenliste, in die sich der Benutzer durch die Eingabe seines Namens aufnehmen lassen kann.

Des Weiteren enthält die Bewertung ein detaillierteres Fehlerprotokoll, in dem die Fehlerkennziffern mitsamt der Beschreibung des Fehlers aufgelistet sind. Über die enthaltenen Knöpfe „in Datei schreiben“ kann der Benutzer das Protokoll in eine Textdatei ausgeben lassen.

5.6 Berechnungen und Messungen im Hintergrund

Da die Ausgabe der Probandenantworten aufgrund der Berechnung der aktuell vor dem virtuellen Probandenauge befindlichen Prüfgläsern und des Visus mit der aktuellen Korrektur erfolgt, sollen hier die Rechnungen erläutert werden.

5.6.1 Berechnung der aktuellen Korrektur

Da das Refraktionsdefizit des Probanden, die vorgeschalteten Prüfgläser, vorgehaltener Kreuzzylinder und die Akkommodation des Probanden die Faktoren sind, von denen der Visus des Probanden abhängt, muss zunächst das Refraktionsdefizit (RD) des Probanden berechnet werden, das sich aus der Kombination all dieser Faktoren

ergibt. Die einzelnen Faktoren sind in Tab. 15 aufgeführt und jeweils die Variablen sphärische und zylindrische Wirkung und Achse benannt.

Tab. 15 Bezeichnung der Variablen Sphäre, Zylinder und Achse

	R			L		
	Sphäre	Zylinder	Achse	Sphäre	Zylinder	Achse
RD + Korrektion alt	X_{R1}	Y_{R1}	Z_{R1}	X_{L1}	Y_{L1}	Z_{L1}
RD + Korrektion neu	X_{R2}	Y_{R2}	Z_{R2}	X_{L2}	Y_{L2}	Z_{L2}
Korrektion	X_{R3}	Y_{R3}	Z_{R3}	X_{L3}	Y_{L3}	Z_{L3}
Glas 1	X_{R4}	Y_{R4}	Z_{R4}	X_{L4}	Y_{L4}	Z_{L4}
Glas 2	X_{R5}	Y_{R5}	Z_{R5}	X_{L5}	Y_{L5}	Z_{L5}
Glas 3	X_{R6}	Y_{R6}	Z_{R6}	X_{L6}	Y_{L6}	Z_{L6}
Glas 4	X_{R7}	Y_{R7}	Z_{R7}	X_{L7}	Y_{L7}	Z_{L7}
Glas 5	X_{R8}	Y_{R8}	Z_{R8}	X_{L8}	Y_{L8}	Z_{L8}
KrZyl	X_{R9}	Y_{R9}	Z_{R9}	X_{L9}	Y_{L9}	Z_{L9}
Akkommodation	X_{R10}	Y_{R10}	Z_{R10}	X_{L10}	Y_{L10}	Z_{L10}
max. Akko-Erfolg	X_{R11}	Y_{R11}	Z_{R11}	X_{L11}	Y_{L11}	Z_{L11}
RD	X_{R12}	Y_{R12}	Z_{R12}	X_{L12}	Y_{L12}	Z_{L12}
richtige Korrektion	X_{R13}	Y_{R13}	Z_{R13}	X_{L13}	Y_{L13}	Z_{L13}
alte Brillenwerte	X_{R14}	Y_{R14}	Z_{R14}	X_{L14}	Y_{L14}	Z_{L14}
Autoref-Werte	X_{R15}	Y_{R15}	Z_{R15}	X_{L15}	Y_{L15}	Z_{L15}

Sobald ein Glas in die Messbrille eingesetzt wird, oder ein Kreuzzylinder vorgehalten wird, bekommen die Variablen einen neuen Wert. Wird ein Glas entfernt, so wird der Wert 0. Die Werte für den maximalen Akkommodationserfolg, das Refraktionsdefizit, die alten Brillenwerte und die Autorefraktometer-Werte werden zu Beginn festgelegt und ändern sich nicht. Sie dienen nur als Berechnungsgrundlage. Die Variablen für die richtige Korrektion ergeben sich aus dem festgelegten RD. Dafür müssen Sphäre und Zylinder mit -1 multipliziert und auf 0,25 dpt gerundet werden, die Achse bleibt gleich.

Für die verschiedenen Kreuzzylinder ergeben sich folgende Werte für die Variablen Sphäre, Zylinder:

KrZyl $\pm 0,25$:	sph + 0,25	zyl -0,50
KrZyl $\pm 0,50$:	sph +0,50	zyl -1,00
KrZyl $\pm 1,00$:	sph +1,00	zyl -2,00

Die Achse ergibt sich nach der Achse, in der der Kreuzzylinder vorgehalten wird.

Die Akkommodation hat immer einen positiven Wert und ist rein sphärisch, die Variable Zylinder ist somit 0.

Für den Fall, dass eine Vollblende (Abdeckglas) vorgeschaltet wird, sind die Werte für Sphäre und Zylinder unendlich, der sich daraus ergebende Visus somit 0.

In dem Fall, dass der Proband ein organisch-funktionelles Problem hat und eine stenopäische Blende vorgeschaltet wird, haben Sphäre und Zylinder den Wert 0. Sie ändern somit nichts am Visus. In dem Fall, dass der Proband nur ein optisches Problem hat, ergeben sich die Werte für Sphäre und Zylinder aus der Multiplikation der Summe der anderen 4 Gläser, des Kreuzzylinders, des RDs und der aktuellen Akkommodation mit dem Wert -1. Damit wird eine Vollkorrektur simuliert und der maximale Visus erreicht.

Mit der Power-Vektor-Methode können Sphäre, Zylinder und Achse in sphärisches Äquivalent (M) und zylindrische Anteile (J_0 und J_{45}) umgerechnet werden, so dass das Refraktionsdefizit mit den vorgeschalteten Gläsern verrechnet werden kann. Die Variablen, die sich daraus ergeben, sind in Tab. 16 aufgeführt.

Tab. 16 Bezeichnung der Variablen M, J_0 und J_{45}

	R			L		
	M	J_0	J_{45}	M	J_0	J_{45}
RD + Korrektur alt	M_{R1}	J_{0R1}	J_{45R1}	M_{L1}	J_{0L1}	J_{45L1}
RD + Korrektur neu	M_{R2}	J_{0R2}	J_{45R2}	M_{L2}	J_{0L2}	J_{45L2}
Korrektur	M_{R3}	J_{0R3}	J_{45R3}	M_{L3}	J_{0L3}	J_{45L3}
Glas 1	M_{R4}	J_{0R4}	J_{45R4}	M_{L4}	J_{0L4}	J_{45L4}
Glas 2	M_{R5}	J_{0R5}	J_{45R5}	M_{L5}	J_{0L5}	J_{45L5}
Glas 3	M_{R6}	J_{0R6}	J_{45R6}	M_{L6}	J_{0L6}	J_{45L6}
Glas 4	M_{R7}	J_{0R7}	J_{45R7}	M_{L7}	J_{0L7}	J_{45L7}
Glas 5	M_{R8}	J_{0R8}	J_{45R8}	M_{L8}	J_{0L8}	J_{45L8}
KrZyl	M_{R9}	J_{0R9}	J_{45R9}	M_{L9}	J_{0L9}	J_{45L9}
aktuelle Akko.	M_{R10}	J_{0R10}	J_{45R10}	M_{L10}	J_{0L10}	J_{45L10}
RD	M_{R12}	J_{0R12}	J_{45R12}	M_{L12}	J_{0L12}	J_{45L12}

Zunächst müssen die Variablen Sphäre, Zylinder und Achse der Gläser 1-5, der Kreuzzylinder und die aktuelle Akkommodation mit den Formeln 8, 9 und 10 in die

Variablen M , J_0 und J_{45} umgerechnet werden. Durch Addition ergeben sich die Variablen M , J_0 und J_{45} für die Korrektur (Gläser 1-5) und für RD+Korrektur neu (RD, Gläser 1-5, Akkommodation und KrZyl). Die Variablen für RD+Korrektur alt bekommen immer die Werte von RD+Korrektur neu, sobald eine Neuberechnung der Variablen für RD+Korrektur neu stattfindet.

Mit den Formeln 11, 12 und 13 erfolgt dann eine Zurückrechnung der Variablen M , J_0 und J_{45} in die Variablen Sphäre, Zylinder und Achse für RD+Korrektur neu, RD+Korrektur alt, Korrektur und Korrektur mit KrZyl.

5.6.2 Berechnung des Visus

Im Anschluss an die Berechnung der aktuellen Fehlsichtigkeit mit vorgeschalteten Prüfgläsern wird der resultierende Visus mit den Formeln 2 und 3 berechnet.

Da die genauen Formeln, die aus der Erhebung von J. Wederz hervorgehen, nur für myope Probanden bzw. eine noch nicht vollständig korrigierte oder künstlich erzeugte Myopie gelten und weder für Hyperopie, noch für Astigmatismus mixtus, soll aufgrund der Einheitlichkeit ausnahmsweise auf die genauere Methode verzichtet werden. Die Formeln von Krause (1985) (Formeln 2 und 3) beschreiben nur näherungsweise den Visusabfall und berücksichtigen weder den unterschiedlichen Visusabfall in gerader und schräger Achslage noch den unterschiedlich starken Visusabfall abhängig von der maximalen Sehschärfe. Sie sind jedoch sowohl für Myopie und Hyperopie als auch alle Arten von regulärem Astigmatismus anwendbar und sollen der Einheitlichkeit halber für die Software als Berechnungsgrundlage herangezogen werden.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei einem negativen Refraktionsdefizit die Visusabnahme durch eine sphärische Fehlsichtigkeit nur berechnet wird, wenn die Stärke der Fehlsichtigkeit den maximalen Akkommodationserfolg übersteigt, und dann auch nur für den Teil der Fehlsichtigkeit, der nicht durch Akkommodation ausgeglichen werden kann. Es gilt also:

$$Sphäre_{Visusabnahme} = -Sphäre + max.Akkommodationserfolg. \quad (14)$$

Der berechnete Visus dient auch als Grundlage für die Wahl der Probandenantwort. Ist der Visus des Probanden besser, so wird sein Seheindruck als besser angenommen.

men und der Proband antwortet entsprechend. Dabei werden immer die Werte für rechtes und linkes Auge verglichen und die Antwort nach dem besseren Auge ausgegeben. Das heißt, wenn der Proband vergessen hat, ein Auge abzudecken, bekommt er evtl. die Antwort für das falsche Auge.

Muss der Proband zwei Seheindrücke vergleichen, so wird der Visus für beide Seheindrücke berechnet und miteinander verglichen (Visus neu und Visus alt). Der Proband bemerkt zwar auch einen Unterschied, wenn die berechneten Visuswerte sich um weniger als Faktor 1,2589 bzw. $\sqrt[10]{10}$ unterscheiden, aufgrund fehlender Studien zu genauen Werten, wird hier vorläufig der Faktor, um den sich zwei Visusstufen unterscheiden, gewählt.

Tab. 17 Bezeichnung der Variablen für den Visus

	R	L
Visus max	V_{R1}	V_{L1}
Visus neu	V_{R2}	V_{L2}
Visus alt	V_{R3}	V_{L3}

Die Werte für den maximalen Visus werden zu Beginn festgelegt und ändern sich während des Refraktionsprozesses nicht. Die Variablen für Visus neu werden berechnet, in dem zunächst die Variable Sphäre von RD+Korrektion neu in Formel 2 eingesetzt wird und anschließend die Variable Zylinder in Formel 3.

Es ergibt sich somit folgende zusammengesetzte Formel 15:

$$Vis_{neu} = \frac{\left(\frac{Vis_{max}}{2^{2 \cdot |Sphäre|}} \right)}{2^{|Zylinder|}} \quad (15)$$

Dabei wird für die Sphäre der Wert von X_{R2} bzw. X_{L2} und für Zylinder der Wert von Y_{R2} bzw. Y_{L2} eingesetzt, je nachdem ob es sich um das rechte oder linke Auge handelt.

Die Variablen für Visus alt bekommen immer die Werte von Visus neu, sobald eine Neuberechnung der Variablen Visus neu stattfindet.

5.6.3 Berechnung der erkannten Sehzeichen

Da der Proband dem Prüfer nicht seinen aktuellen Visus mitteilt, sondern Angaben zu den dargebotenen Optotypen macht, muss auch die Umsetzung in der Software so erfolgen, dass die Anzahl der vom Probanden erkannten Optotypen mit dem aktuellen berechneten Visus des Probanden, in Bezug auf die dargebotene Optotypengröße, übereinstimmt. Dieser durch die psychometrische Funktion der Sehschärfe beschriebene Zusammenhang (vgl. Abb. 1 in Kapitel 4.1.1) wird mit Formel 1 berechnet. Der ermittelte Wert muss nur noch auf die Anzahl der dargebotenen Sehzeichen umgerechnet werden.

Dabei muss für v_0 der Wert für die Variable Visus neu eingesetzt werden. Für v muss die aktuell dargebotene Visusstufe eingesetzt werden. Der errechnete Wert für $P_{v_0}(v)$ ergibt folgende Anzahl erkannter Sehzeichen bei 5 dargebotenen Sehzeichen:

$P_{v_0}(v) < 0,2:$	Kein Sehzeichen wird richtig erkannt
$P_{v_0}(v) \geq 0,2:$	Ein Sehzeichen wird richtig erkannt
$P_{v_0}(v) \geq 0,4:$	Zwei Sehzeichen werden richtig erkannt
$P_{v_0}(v) \geq 0,56:$	Drei Sehzeichen werden richtig erkannt
$P_{v_0}(v) \geq 0,8:$	Vier Sehzeichen werden richtig erkannt
$P_{v_0}(v) \geq 1,0:$	Fünf Sehzeichen werden richtig erkannt

Bei einem dargebotenen Sehzeichen wird dieses richtig erkannt, wenn $P_{v_0}(v) \geq 0,56$ gilt (vgl. Kapitel 4.1.1). Die Bezeichnung der Variablen der Anzahl erkannter Sehzeichen ist in Tab. 18 Bezeichnung der Variablen für die Anzahl erkannter Sehzeichen zu sehen.

Tab. 18 Bezeichnung der Variablen für die Anzahl erkannter Sehzeichen

	R	L
erkannte Sehzeichen alt	P_{R1}	P_{L1}
erkannte Sehzeichen neu	P_{R2}	P_{L2}

Zur Kontrolle des Refraktionsablaufes wird zusätzlich zur aktuell dargebotenen Visusstufe die zuvor dargebotene Visusstufe gespeichert. Sobald die Neuberechnung der erkannten Sehzeichen stattfindet, wird der Wert der aktuell dargebotenen Visusstufe der Variablen zugewiesen und der vorherige Wert der Variablen Visusstufe alt zugeordnet. Die Bezeichnung der Variablen ist wie folgt:

vorherige Optotypengröße: O_1

aktuelle Optotypengröße: O_2

Die Strichfigur und die Sehtafel für den Rot-Grün-Test gibt es nicht in verschiedenen Visusstufen. Damit trotzdem die Berechnung einer Probandenantwort möglich ist, werden diese Sehtafeln trotzdem wie normale Sehzeichen behandelt, das heißt die aktuelle Visusstufe über das Bedienfeld ausgewählt. Sie werden wie Einzeloptotypen behandelt.

5.6.4 Berechnung der Probandenantwort

Die Bedingungen dafür, welche der verschiedenen Antwortmöglichkeiten von dem Programm ausgegeben wird, sind in Tab. 19 (einer veränderten Version von Tab. 18) festgehalten. Die Verwendung von / ist als dividieren zu verstehen. Die Bedingung < 0 ist gleichbedeutend mit negativ, > 0 mit positiv.

U_v ist die Variable für den Faktor, um den sich zwei errechnete Sehschärfewerte unterscheiden müssen, damit der virtuelle Proband einen Unterschied bemerkt. U_y ist die Variable für die Größe des Zylinders, bei der der virtuelle Proband einen Astigmatismus bemerkt (z. B. weil er bei der Zylindernebelmethode eine Strichrichtung schwärzer sieht).

Tab. 19 Bedingungen für die Ausgabe der Probandenantwort

G1-1) Wird der Seheindruck mit dem nächsten Glas schlechter?	
Visus neu $<$ Visus alt	Ja
Visus alt \leq Visus neu	Nein, besser; Nein
G1-2) Wird der Seheindruck mit dem nächsten Glas besser?	
Visus neu \leq Visus alt	Nein, schlechter; Nein
Visus alt $<$ Visus neu	Ja
G1-3) Wird der Seheindruck mit dem nächsten Glas wieder besser?	
Visus neu \leq Visus alt	Nein, schlechter; Nein
Visus alt $<$ Visus neu	Ja
G1-4) Wird es mit dem nächsten Glas besser, oder sind die Zeichen nur kleiner und schwärzer?	
Visus alt $<$ Visus neu	Es wird besser
Visus neu \leq Visus alt	Es wird schwärzer; Es wird nicht besser
G1-5) Ist der Seheindruck mit Glas 1 oder Glas 2 besser, oder ist kein großer Unterschied zu erkennen?	

Visus neu < Visus alt/Uv	Glas 1 ist besser
Visus alt < Visus neu/Uv	Glas 2 ist besser
andernfalls	Ich erkenne keinen Unterschied
G1-6) Sehen Sie mit dem nächsten Glas eine Strichgruppe schwärzer als die anderen?	
Betrag von Zylinder RD+Korrektion neu > Uy	Ja
Betrag von Zylinder von RD+Korrektion neu < Uy	Nein
G1-7) In welcher Richtung sind die Striche schwärzer?	
Zyl. RD+Korr. neu < 0 und $16^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} < 46^\circ$	60 (2 Uhr)
Zyl. RD+Korr. neu < 0 und $46^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} < 76^\circ$	30 (1 Uhr)
Zyl. RD+Korr. neu < 0 und $76^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} < 106^\circ$	18 (12 Uhr)
Zyl. RD+Korr. neu < 0 und $106^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} < 136^\circ$	15 (11 Uhr)
Zyl. RD+Korr. neu < 0 und $136^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} < 166^\circ$	12 (10 Uhr)
Zyl. RD+Korr. neu < 0 und $166^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} \leq 180^\circ$ oder $0^\circ \leq \text{Achse RD+Korrektion neu} < 16^\circ$	90 (3 Uhr)
Zyl. RD+Korr. neu > 0 und $16^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} < 46^\circ$	15 (11 Uhr)
Zyl. RD+Korr. neu > 0 und $46^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} < 76^\circ$	12 (10 Uhr)
Zyl. RD+Korr. neu > 0 und $76^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} < 106^\circ$	90 (3 Uhr)
Zyl. RD+Korr. neu > 0 und $106^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} < 136^\circ$	60 (2 Uhr)
Zyl. RD+Korr. neu > 0 und $136^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} < 166^\circ$	30 (1 Uhr)
Zyl. RD+Korr. neu > 0 und $166^\circ < \text{Achse RD+Korrektion neu} \leq 180^\circ$ oder $0^\circ \leq \text{Achse RD+Korrektion neu} < 16^\circ$	18 (12 Uhr)
Betrag von Zyl. RD+Korrektion neu < Uy	Alle Striche sind gleich schwarz
G1-8) Werden die schwärzeren Striche mit dem nächsten Glas noch deutlicher?	
Zylinder RD+Korr. neu < 0 und Zylinder RD+Korr. alt < 0 und Sph.+Zyl. RD+Korr neu < Sph.+Zyl. RD+Korr. alt	Ja
Zylinder RD+Korr. neu > 0 und Zylinder RD+Korr. alt > 0 und Sph. RD+Korr neu < Sph. RD+Korr. alt	
Zylinder RD+Korr. neu > 0 und Zylinder RD+Korr. alt < 0 und Sph. RD+Korr neu < Sph.+Zyl. RD+Korr. alt	
Zylinder RD+Korr. neu < 0 und Zylinder RD+Korr. alt > 0 und Sph.+Zyl. RD+Korr. neu < Sph. RD+Korr. alt	
andernfalls	Nein
G1-9) Haben die schwärzeren Striche mit dem nächsten Glas die gleiche Richtung wie zuvor?	
Betrag von Achse RD+Korr. neu - Achse ≤ 7	Ja
Betrag von Achse RD+Korr. neu - Achse > 7	Nein

G1-10) Bitte blicken sie auf das grüne Testfeld und vergleichen Sie das große Zeichen mit dem entsprechenden Zeichen im roten Feld. Blicken Sie dabei nur kurz auf das rote Feld und sofort wieder auf das grüne Feld zurück. Besteht ein deutlicher Unterschied in der schwärze der Sehzeichen?	
Sphäre Korr. > Sphäre richtige Korr.	Die Zeichen im roten Feld sind schwärzer
Sphäre Korr. < Sphäre richtige Korr.	Die Zeichen im grünen Feld sind schwärzer
Sphäre Korr. = Sphäre richtige Korr.	Die Zeichen sind gleich schwarz
G1-11) Bitte lesen Sie, was Sie sehen!	
P = 0	Ich kann nichts erkennen; 5 falsche Zeichen
P = 1	1 Zeichen richtig, 4 Zeichen falsch
P = 2	2 Zeichen richtig, 4 Zeichen falsch
P = 3	3 Zeichen richtig, 2 Zeichen falsch
P = 4	4 Zeichen richtig, 1 Zeichen falsch
P = 5	5 Zeichen richtig
G1-12) Dem Probanden einen Moment Zeit geben, um sich auf das Glas einzustellen.	
immer	Ok
G1-13) Der Seheindruck kann mit dem nächsten Glas schlechter werden. Vergleichen Sie bitte trotzdem die beiden Seheindrücke!	
immer	Ok

Im Falle besonderer Probandeneigenschaften wird die berechnete Antwort gelegentlich durch andere Antworten gestört, so dass der Prüfer den letzten Vorgang wiederholen muss.

5.6.5 Berechnung der Vorinformationen

Die Software soll die Autorefraktometer-Werte nach den Ergebnissen der in Kapitel 4.4 beschriebenen Studie von Wesemann ermitteln. Es sollen somit in 81 % (ermittelter Durchschnitt) der Fälle zu der tatsächlichen sphärischen Refraktion (gerundet auf 0,25 dpt) zufällig 0 dpt, $\pm 0,25$ dpt oder $\pm 0,50$ dpt addiert werden. In 19 % der Fälle sollen zufällig $\pm 0,75$ dpt, $\pm 1,00$ dpt, $\pm 1,25$ dpt oder $\pm 1,50$ dpt addiert werden.

In 95 % der Fälle soll zu der tatsächlichen zylindrischen Refraktion (gerundet auf 0,25 dpt) ein Zylinder von zufällig 0 dpt, $\pm 0,25$ dpt oder $\pm 0,50$ dpt hinzuaddiert, in 5 % der Fälle soll zufällig ein Zylinder von $\pm 0,75$ dpt, $\pm 1,00$ dpt, $\pm 1,25$ dpt oder $\pm 1,50$ dpt hinzuaddiert werden.

Die Achsabweichung lässt sich durch Umstellen der Formel 14, abhängig von dem tatsächlichen Korrektionszylinder berechnen. Es ergibt sich daraus Formel 16:

$$Achse_{Autoref} = Achse_{richtige\ Korr.} + \left(\arcsin \left(\frac{DA}{2 \cdot Zylinder_{richtige\ Korr.}} \right) \right) \quad (16)$$

In 87% der Fälle sollen für DA zufällig die Werte $\pm 0,25$ dpt oder $\pm 0,50$ dpt gewählt werden. In 13% der Fälle sollen zufällig die Werte $\pm 0,75$ dpt, $\pm 1,00$ dpt, $\pm 1,25$ dpt oder $\pm 1,50$ dpt für DA gewählt werden. Die Achse soll auf 1° gerundet werden.

Für die Ausgabe der alten Brillenwerte samt Brillenalter sind nur die Voraussetzungen im Konzept umgesetzt. So gibt es ein Anzeigefeld für die alten Brillenwerte und das Alter der Brille, die konkreten Werte müssen anhand von Erfahrungswerten oder Studien ermittelt werden. Bis auf Weiteres wird das Alter der Brille immer auf 0,5 Jahre festgelegt, da nach Einschätzung des Autors über diesen Zeitraum sowohl eine geringe Änderung bei gesunden Augen als auch eine stärkere Änderung bei erkrankten Augen auftreten kann. Ebenso wird für die Abweichung der Korrektion von der tatsächlichen Korrektion vorläufig ein Wert von $\pm 1,5$ dpt für Sphäre oder Zylinder angenommen und ± 10 dpt für die Achse.

Die Variablen Sphäre und Zylinder für alte Brillenwerte errechnen sich somit aus den Variablen für die tatsächliche Korrektion zu der die Abweichung addiert wird.

Für das Brillenalter wird keine Variable benötigt, da es direkt bei Festlegung verdeckt in das entsprechende Feld geschrieben wird und bei Aufruf der Brillenwerte sichtbar wird.

5.6.6 Weitere Messungen und Berechnungen im Hintergrund

Die Messung der Dauer der Refraktion, die mit in die Bewertung eingeht, beginnt, sobald der Proband auf den Button „neuer Proband“ klickt und endet mit dem Klick auf „Fertig“.

Die Messung der Reaktionsdauer für jede Reaktion des Prüfers beginnt, sobald die Software eine Probandenantwort ausgibt und endet, sobald der Prüfer ein Glas in die Messbrille einsetzt oder den Kreuzzylinder vorhält. In Fällen in denen kein Glas vorgehalten wird, ist eine Art Stopp-Mechanismus in den Programmablauf eingebaut,

der die Zeitmessung stoppt. Die maximal gemessene Reaktionszeit geht in die Bewertung mit ein.

R ist ein Textfeld, mit dem die Reihenfolge des Refraktionsablaufes kontrolliert wird. Sobald ein Hinweis auf der Oberfläche angeklickt wird, wird der damit zusammenhängende Refraktionsschritt in diesem Textfeld notiert (bei G2-2 also eine 2, bei G2-4 eine 4). Bei der Bewertung am Ende kann durch Auslesen des Textfeldes ermittelt werden, ob die Refraktionsschritte an richtiger Stelle der Reihenfolge durchgeführt wurden.

6 Diskussion

In diesem Kapitel soll diskutiert werden, welche Aspekte umgesetzt werden konnten, welche Restriktionen das Konzept noch hat und wie diese beseitigt werden könnten. Dies soll im Besonderen im Bezug auf die Ziele der Arbeit beleuchtet werden, das heißt Realitätsnähe und Erweiterungsmöglichkeit des Konzepts sowie nachvollziehbare Dokumentation. Welche Erweiterungen für das Konzept denkbar und sinnvoll sind, wird im Anschluss daran in Kapitel 7 ausgeführt.

Wesentliche Einschränkungen in dem vorliegenden Konzept sind der Mangel an realistischen Werten zur Altersverteilung unter den Fehlsichtigen und fehlende Daten zur Messgenauigkeit von Autorefraktometern bei höheren Fehlsichtigkeiten sowie zur zeitlichen und wertmäßigen Einordnung von starken Refraktionsänderungen. Weiter ist der Mangel an allgemeingültigen präzisen Formeln zur Berechnung der Sehschärfe als Defizit aufzuführen. Weitere Einschränkungen sind der Komplexität der Softwarefunktionen geschuldet. Während sich einige Probandeneigenschaften und Fehlerquellen umsetzen lassen, sind andere nicht aus der Realität in ein Konzept dieses Umfangs übertragbar. Die genannten Einschränkungen sind in den folgenden Absätzen im Einzelnen beschrieben.

Das Alter der Probanden wird nach der Häufigkeit in der Bevölkerung ausgewählt. Es ist jedoch nicht gesagt, dass die Altersverteilung unter den Fehlsichtigen, die zum Refraktionieren der Augen vorstellig werden, gleich ist. Da die Datenlage für das Auftreten von Fehlsichtigkeiten und Augenerkrankungen (vgl. Kapitel 4.2 und 4.8) schlecht ist und die genauen Daten für die Altersverteilung umso weniger bekannt sind, sind die Daten des statistischen Bundesamtes vermutlich die verlässlichsten und werden aus diesem Grund in der Arbeit als Grundlage für die Festlegung des Probandenalters verwendet.

Sofern es Studien über die Genauigkeit von Autorefraktometern bei höheren Fehlsichtigkeiten gibt, können diese für die Bereitstellung von Vorinformationen von virtuellen Probanden verwendet werden. Dies wäre eine Möglichkeit, die Realitätsnähe der Software zu verbessern. Gleiches gilt für die Festlegung der Brillenwerte einer alten Brille, für die Momentan nur grob geschätzte einheitliche Werte verwendet werden.

Ideal wäre die genauere Berechnung der Visusabnahme mit Formeln, die auch bei Astigmatismus mixtus und Hyperopie angewendet werden können oder aber das Ersetzen der Berechnung durch Sensoren, über die die Abbildungen reell dargebotener Sehzeichen durch reell vorgeschaltete Linsen ausgewertet werden.

Zwar sind somit in einigen Fällen Einschränkungen bzgl. der Realitätsnähe der verwendeten Werte und Formeln zu machen (s. o.). Da die Verwendung dieser Werte jedoch weitestgehend in Form von Variablen in dem Konzept für den Programmablauf umgesetzt ist (z. B. U_v , U_y), ist eine nachträgliche Anpassung der Werte ohne großen Aufwand durchführbar und ebenso eine Erweiterung des Konzeptes um weitere Funktionen.

Die Gestaltung der Softwareoberflächen und die Möglichkeit der Bewegung von Prüfgläsern mit der Maus tragen wesentlich dazu bei, dass die erschaffene Refraktionsumgebung weitaus realistischer ist als die bisherigen Programme. Es können in der Realität jedoch auch Besonderheiten auftreten, die sich mit einer Software dieser Form schlicht nicht abbilden lassen. Wenn der Proband beispielsweise Wörter statt Einzelbuchstaben liest oder Ziffern als fünfstellige Zahl, macht das in einer schriftlichen Textausgabe keinen Unterschied. So ein Fehler ließe sich evtl. durch eine Sprachausgabe umsetzen.

Eine nachvollziehbare Dokumentation wurde durch die genaue Beschreibung des Funktionsablaufes für jedes Element, das als Button definiert ist, angestrebt. Die Übersichtlichkeit sollte durch eine Art Verzeichnis aller Bedienelemente und die Bezeichnung ebendieser auf den Fensteroberflächen erreicht werden. Variablen und Formeln zur Berechnung, Hintergrundinformationen und einige Abbildungen, die für die endgültige Gestaltung der Oberflächen genutzt werden können, finden sich in der Arbeit niedergeschrieben. Alle diese geplanten Aspekte für eine nachvollziehbare Dokumentation wurden somit umgesetzt, so dass eine Programmierung nach dieser Arbeit möglich sein sollte.

Da bei der Refraktionsbestimmung auf viele kleine Einzelheiten geachtet werden muss (z. B. eine knappe Sekunde warten bis das Glas vorgeschaltet wird, einen Glaswechsel immer in Richtung Plus durchführen) ergeben sich viele einzelne kleine Fehler, die auch noch verschieden für die Bewertung der Refraktion gewichtet werden müssen. Dies ist eine höchst komplexe und nicht immer eindeutige Angelegen-

heit, da es bei der Durchführung verschiedene Vorlieben gibt. Aus diesem Grund gibt es im Konzept eine Reihe von Fehlern, die mit gleicher Wertigkeit berücksichtigt werden. Dies ist eine weitere Restriktion für das Ziel einer realistischen Funktionalität und Bewertung. Die Gleichgewichtung verschiedener Fehler lässt die Bewertung statisch wirken. In dem Bereich Bewertung liegt somit noch das größte Differenzierungs- und Verfeinerungspotential, da eine differenzierte Bewertung die Grundlage für Verbesserungen ist.

7 Ausblick

Die Schritte des Refraktionsablaufes, die in dieser Arbeit für das Software-Konzept bearbeitet wurden, stellen nur einen kleinen Schritt in einem gesamten Refraktionsablauf dar. In

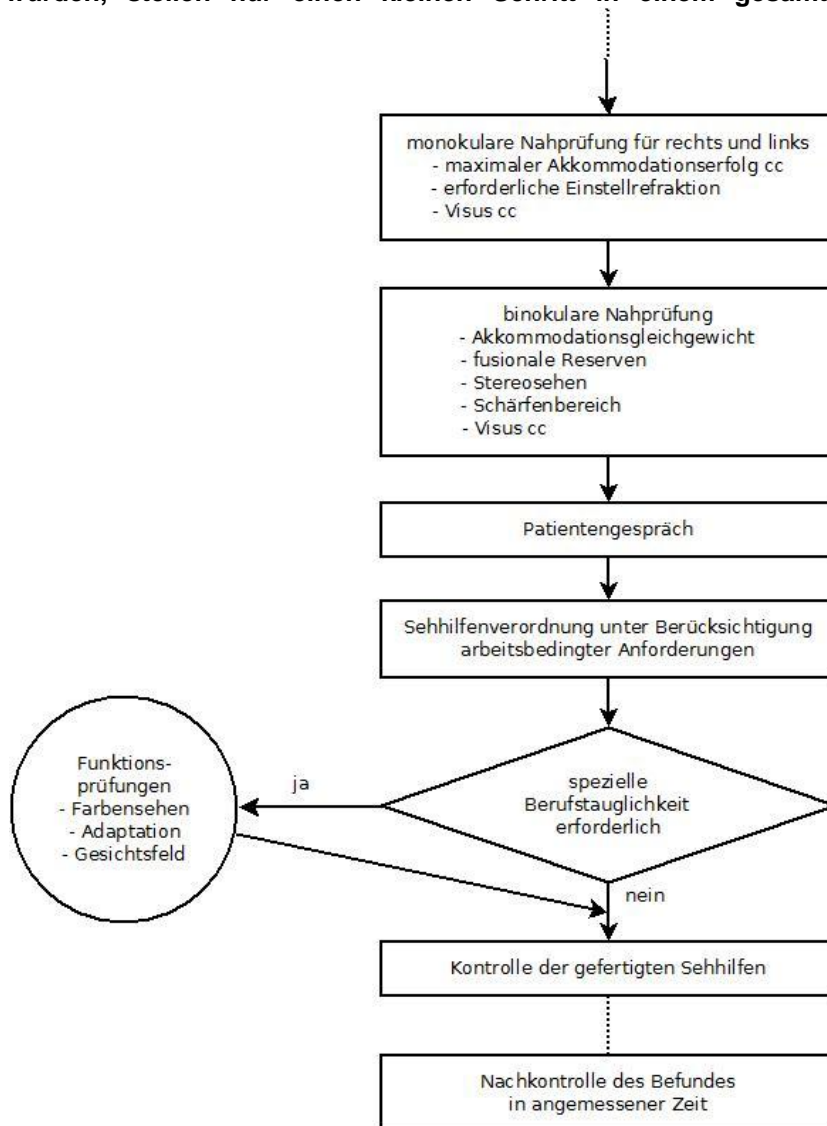


Abb. 20 ist der gesamte Ablaufplan einer Refraktion zu sehen, wie ihn Methling in „Bestimmen von Sehhilfen“ ganz aktuell beschreibt. Die bearbeiteten Schritte sind grau unterlegt. (Methling 2013)

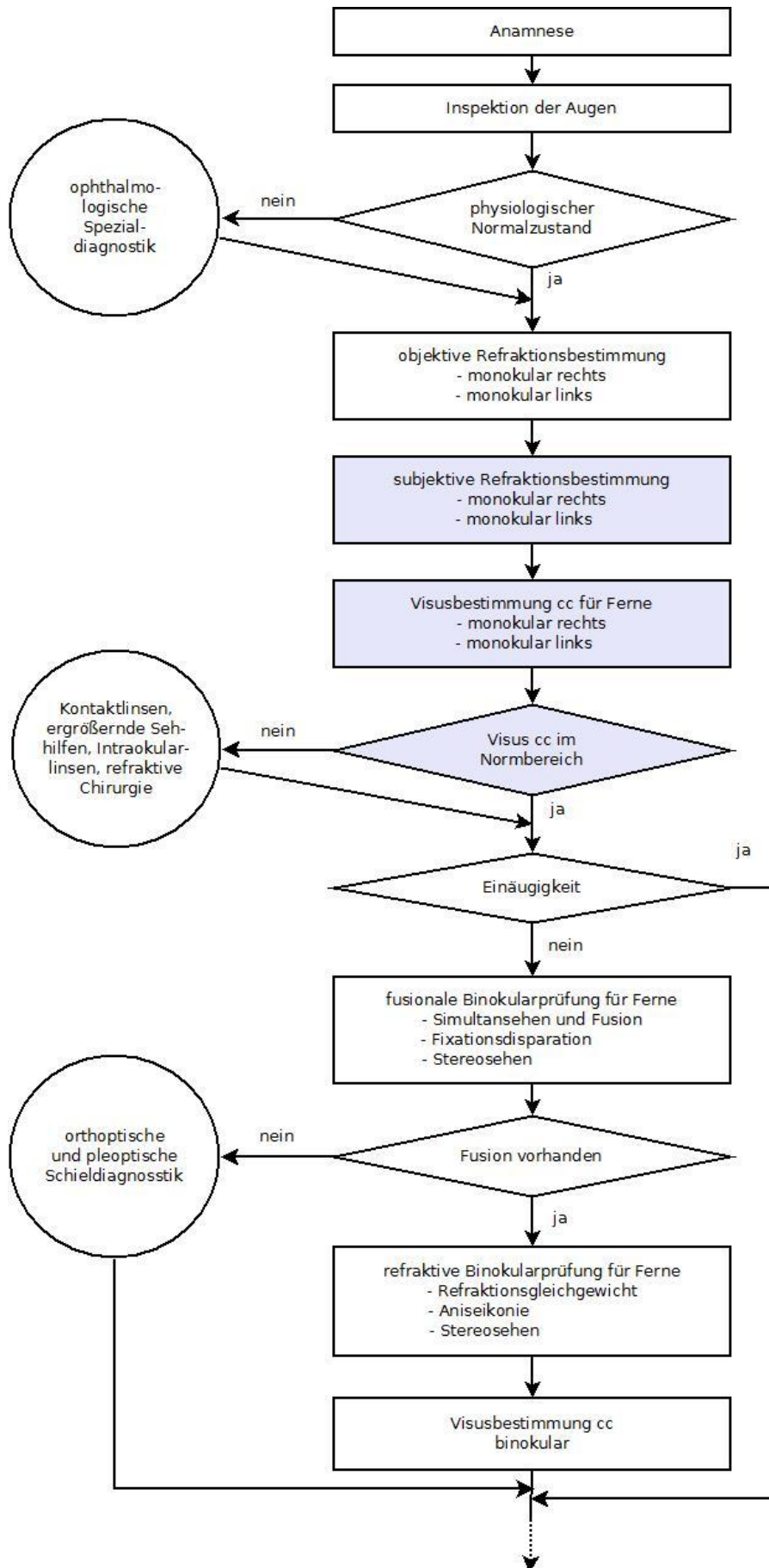


Abb. 19 Ablaufplan zur Bestimmung von Sehhilfen mit Auswahl der relevanten Schritte - Teil 1 (Methling 2013)

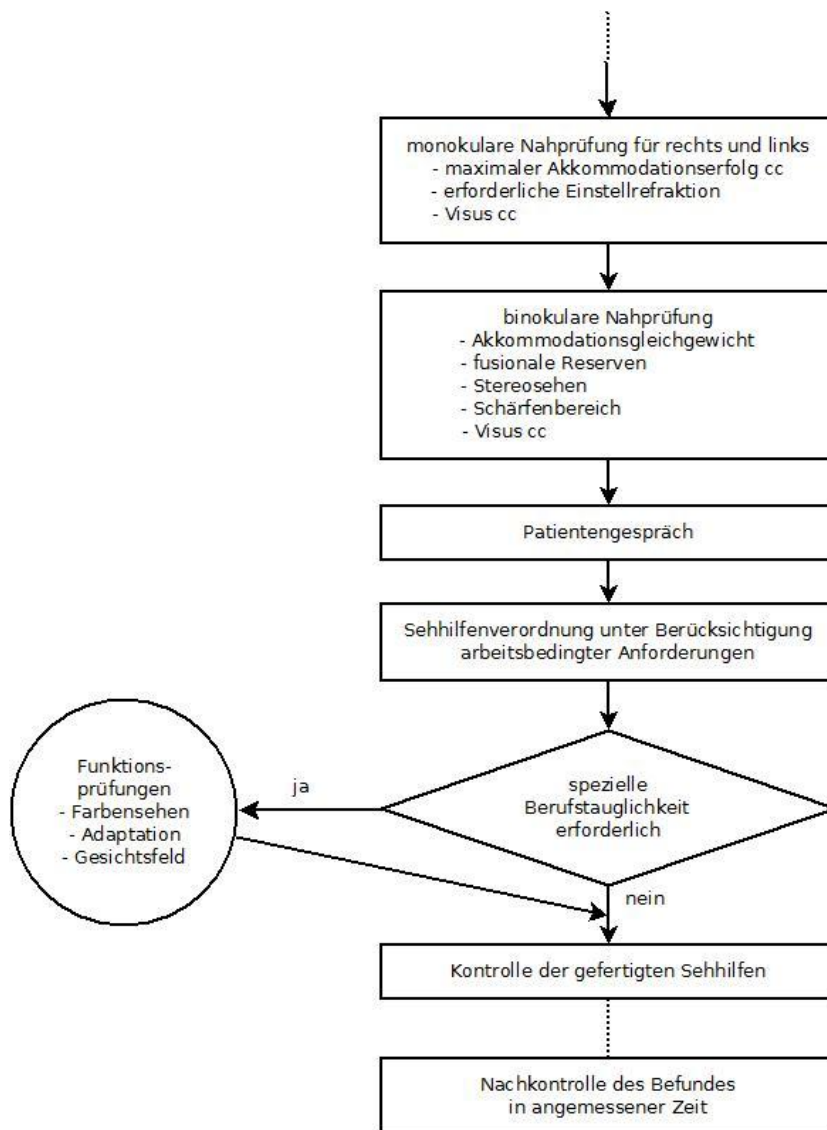


Abb. 20 Ablaufplan zur Bestimmung von Sehhilfen mit Auswahl der relevanten Schritte - Teil 2 (Methling 2013)

Es ist zu erkennen, dass sich das Konzept noch um einige Bereiche erweitern lässt.

Der nächste Schritt sollte die Umsetzung der Programmierung des bestehenden Konzeptes sein, um Testläufe durchführen zu können und zu sehen, ob die theoretischen Überlegungen funktionieren, bevor darauf weitere Funktionen aufgebaut werden. Im Testlauf muss sich dann auch zeigen, ob die gewählten Werte für die verschiedenen Probandeneigenschaften sinnvoll sind, oder ob eine Anpassung notwendig ist und ob die Schwierigkeitsstufen sinnvoll gewählt sind.

Eine Erweiterung um weitere einzelne Symptome, die auf (schwerwiegende) Erkrankungen hinweisen, wäre wünschenswert (beispielsweise Blendempfindlichkeit oder schwankender Visus). Außerdem ist auch die Verknüpfung verschiedener Symptome

zu einem Krankheitsbild denkbar, so dass dem Probanden eine tatsächliche Erkrankung „zugelost“ werden könnte.

Neben der Erweiterung um weitere Schritte des Refraktionsablaufes wie objektive Refraktion, Nahprüfung und Binokularprüfung ließe sich das Konzept um weitere Refraktionsverfahren erweitern, die nicht so häufig verwendet werden. Als Beispiele sind hier die Pfeilschattenmethode für die Astigmatismusprüfung und der Kreuzmustertertest nach Wilms zu nennen. Ebenso ist eine Erweiterung um Zentriergläser und die Funktion der Justierung der Messbrille denkbar. (Methling 2013)

Der gesamte Teil der Visusberechnung soll letztendlich in dem Simulationskopf durch die Auswertung mit Sensoren, die anstelle der Augen in dem Messkopf sitzen, ersetzt werden. Der Bildschirm zur Bedienung wird in leicht abgewandelter Form notwendig sein, solange es nicht noch eine eingebaute Spracherkennung gibt.

Abgesehen von den geschilderten inhaltlichen Erweiterungen ist, in Zusammenarbeit mit Fachleuten, auch eine Erweiterung des Softwarekonzeptes nach pädagogischen Gesichtspunkten denkbar.

8 Literaturverzeichnis

- Augenoptikerverband NRW (Hg.) 2009. *Formelsammlung Augenoptik*. 2. Aufl. Dortmund: AOS Augenoptiker Service GmbH.
- Bach, Michael 1996. The "Freiburg Visual Acuity Test" - Automatic measurement of visual acuity. *Optom Vis Sci*(73), 49–53 [Stand 2014-07-07].
- Berke, Andreas & Färber, Richard 2001. *Refraktionsbestimmung: Teil 1 Optische und physiologische Grundlagen*. Mainz: WVAO. (12).
- Berufsverband der Augenärzte 2014. *Statistiken: Fehlsichtigkeiten*. URL: <http://cms.augeninfo.de/nc/hauptmenu/presse/statistiken/statistik-fehlsichtigkeiten.html> [Stand 30.06.14].
- Breitenstein, Tobias 2005. *Electric Optician PE*. URL: <http://hfak.info/breitenstein/ElectricOptician/index.html> [Stand 01.04.14].
- Diepes, Heinz 2004. *Refraktionsbestimmung*. 3., komplett überarb. Aufl. Heidelberg: DOZ-Verlag Optische Fachveröffentlichung.
- DIN 1983. *DIN 66001 Sinnbilder und ihre Anwendung*. Berlin: Beuth Verlag [Stand 2014-06-05].
- DIN 2009. *DIN EN ISO 8596 Augenoptik - Sehschärfenbestimmung - Das Normsehzeichen und seine Darbietung*. Berlin: Beuth Verlag [Stand 2014-06-15].
- DIN 2013. *DIN 58220-5 Sehschärfebestimmung - Teil 5: Allgemeiner Sehtest*. Berlin: Beuth Verlag [Stand 2014-06-19].
- Fellner, Guido 2012. *Refraktions-Simulator*. URL: <http://www.optikum.at/refsim-ein-simulator-zur-monokularen-refraktion/> [Stand 2014-01-13].
- Fischer, Helge 2013. *E-Learning im Lehralltag: Analyse der Adoption von E-Learning-Innovationen in der Hochschullehre*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Free Software Foundation 2011. *Dia: Eine Anwendung zum Zeichnen von strukturierten Programmen*: Free Software Foundation. URL: <http://dia-installer.de/> [Stand 4.7.14].
- Friedburg, Dieter & Krause, Kunibert 2002a. Subjektive Refraktionsbestimmung. *Ophthalmologe* 99(7), 586-597. Online im Internet: URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00347-002-0646-5>.
- Friedburg, Dieter & Krause, Kunibert 2002b. Subjektive Refraktionsbestimmung: Teil II: Monokularer Feinabgleich. *Ophthalmologe* 99(8), 657-667. Online im Internet: URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00347-002-0671-4>.

- Friedrich, Michaela, Degle, Stephan & Grein, Hans-Jürgen 2011. *Optometrische Funktionsprüfungen: 22 Tabellen*. 1. Aufl. DOZ: Heidelberg. Online im Internet: URL: <http://d-nb.info/1012302202/04>.
- Grimm, W., u.a. 1994. Correlation of optotypes with the Landolt ring - A fresh look at the comparability of optotypes. *Optom Vis Sci* 71(1), 6–13 [Stand 2014-06-19].
- Hartmann, Erwin 1988. Konsequenzen kleiner Fehlrefraktionen. *der Augenoptiker*(11), 20–24.
- Harvey, Erin M., u.a. 2000. Measurement of Refractive Error in Native American Preschoolers: Validity and Reproducibility of Autorefraction. *Optom Vis Sci* 77(3), 140–149 [Stand 2014-07-17].
- Hitzke, Christine 2004. Computer Based Training in Refraktion für Ophthalmologen doc. Diplomarbeit. ETH Zürich. URL: <http://www.iha.ethz.ch/people/phd/hitzke/downloads/Bericht.pdf> [Stand 2013-12-29].
- Köhler, Joachim 2011. *"Alles für die Augen": Augenglasbestimmung mit zeitgemäßen Technologien*. Heidelberg: DOZ-Verlag.
- Krause, Kunibert 1985. *Methoden der Refraktionsbestimmung*. Münster: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Regensburg u. Biermann mbH. (R-&-B-Praxisbuch).
- Kron, Friedrich W. & Sofos, Alivisos 2003. *Mediendidaktik: Neue Medien in Lehr und Lernprozessen*. München: Ernst Reinhardt.
- Lachenmayr, Bernd, u.a. 2006. *Auge-Brille-Refraktion: Schober-Kurs: verstehen - lernen - anwenden*. 4., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme.
- Lachenmayr, Bernhard 2011. *Leitlinie-Anhang: Empfehlung zur Optischen Korrektur von Refraktionsfehlern: Brille* [Stand 2014-06-04].
- McClelland, David C. 1961. *The Achieving Society*. Princeton, New York: Irvington. New York: Princeton. In: Fischer, Helge 2013 E-Learning im Lehralltag: Analyse der Adoption von E-Learning-Innovationen in der Hochschullehre. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Methling, Dieter 2013. *Bestimmen von Sehhilfen*. 3., vollst. überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart u.a: Thieme. Online im Internet: URL: <http://d-nb.info/1016446721/04>.
- Michels, Ralf 2014. persönliche Mitteilung an Klein Sarah, 11. Juli.

- Murray, H A. 1938. *Explorations in Personality*. New York: Oxford University Press.
- In: Fischer, Helge 2013 E-Learning im Lehralltag: Analyse der Adoption von E-Learning-Innovationen in der Hochschullehre. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Seel, Norbert M. & Irfenthaler, Dirk 2009. *Online lernen und lehren*. München: Reinhardt. (UTB). Online im Internet: URL: <http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3302786&prov=M&dok%5Fvar=1&dok%5Fext=htm>.
- Seiler, Theo, u.a. 2003. Supernormales Sehvermögen. *Deutsches Ärzteblatt* 100(11), 700–704. Online im Internet: URL: <https://www.aerzteblatt.de/pdf/100/11/a700.pdf> [Stand 2014-07-06].
- Statistisches Bundesamt 1991. *Fachserie 13: Sozialleistungen. Reihe 51: Schwerbehinderte, 1989*. Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt 2009. *12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*. URL: <https://www.destatis.de/bevoelkerungspyramide/> [Stand 2014-05-01].
- Stoecker, Daniela 2013. *eLearning - Konzept und Drehbuch*. Heidelberg: Springer-Verlag [Stand 2014-07-29].
- Tesch-Römer, Clemens & Wahl, Hans-Werner (Hg.) 1996. *Seh- und Höreinbußen älterer Menschen: Herausforderungen in Medizin, Psychologie und Rehabilitation*. Darmstadt: Dr. Dietrich Steinkopff Verlag.
- Wesemann, W. 2004. Funktionsprinzipien und Messgenauigkeit moderner Autorefraktometer. *DOZ*(10), 38–44. Online im Internet: URL: www.doz-verlag.de/archivdownload/?artikelid=1562 [Stand 2014-05-12].
- Wesemann, Wolfgang 2005. Mathematische Anmerkungen: Welche Beziehung besteht zwischen der normalen sphäro-zylindrischen Schreibweise von Korrektionsgläsern und den Zernike-Polynomen? *DOZ Optometrie*(3), 40–44.

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Einzelne Schritte der Vorgehensweise	3
Abb. 2 Programmoberfläche Refsim7 (Fellner 2012)	5
Abb. 3 Programmoberfläche Electric Optician PE (Breitenstein 2005)	7
Abb. 4 Psychometrische Funktion der Sehschärfe (Bach 1996)	13
Abb. 5 Flussdiagramm zur monokularen Refraktionsbestimmung	19
Abb. 6 Flussdiagramm zur Bestimmung des BSG (Krause 1985)	22
Abb. 7 Flussdiagramm zum Ablauf der Kreuzzylindermethode	23
Abb. 8 Flussdiagramm zum Nachweis des Astigmatismus (Krause 1985)	25
Abb. 9 Flussdiagramm zur Zylindernebelmethode	28
Abb. 10 Strahlenfigur für die Zylindernebelmethode (Lachenmayr u.a. 2006)	29
Abb. 11 Rot-Grün-Test für den monokularen sphärischen Feinabgleich	31
Abb. 12 Die acht Positionen des Landolt-Rings	34
Abb. 13 Die vier Positionen des E-Haken	35
Abb. 14 Entwurf der Software-Oberfläche für Fenster 1	57
Abb. 15 Entwurf für das Fenster Optionen (Fenster 4)	58
Abb. 16 Entwurf für das Hilfemenü (Fenster 3)	60
Abb. 17 Entwurf für das Fenster zur Einschätzung des Probanden (Fenster 5)	61
Abb. 18 Entwurf für das Fenster Bewertung (Fenster 4)	62
Abb. 19 Ablaufplan zur Bestimmung von Sehhilfen mit Auswahl der relevanten Schritte - Teil 1 (Methling 2013)	77

Abb. 20 Ablaufplan zur Bestimmung von Sehhilfen mit Auswahl der relevanten Schritte - Teil 2 (Methling 2013).....	78
Abb. 21 Auszug aus DIN 66001, Seite 3	86
Abb. 22 Auszug aus DIN 66001, Seite 6	86
Abb. 23 Fenster 1 mit Bezeichnung der Elemente	87
Abb. 24 Fenster 2 mit Bezeichnung der Elemente	88
Abb. 25 Fenster 3 mit Bezeichnung der Elemente	89
Abb. 26 Fenster 4 mit Bezeichnung der Elemente	89
Abb. 27 Fenster 5 mit Bezeichnung der Elemente	90
Abb. 28 Legende zu den selbst erstellten Diagrammen	94

10 Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Vergleich zwischen Refsim7 und Electric Optician.....	10
Tab. 2 Abhängigkeit der relativen Sehschärfe vom Alter (Methling 2013)	11
Tab. 3 Altersbedingt reduzierte maximale Sehschärfe (nach Methling).....	12
Tab. 4 Zusammenhang zwischen Alter u. max. Akkommodationserfolg (Lachenmayr u.a. 2006)	17
Tab. 5 Stufungstabelle für sphärische Gläser (Lachenmayr u.a. 2006)	20
Tab. 6 Stufungstabelle für zylindrische Gläser (Lachenmayr u.a. 2006)	26
Tab. 7 Nebelglas berechnet nach Lachenmayr (2006)	28
Tab. 8 Anteil der Schwerhörigen in verschiedenen Altersgruppen (Statistisches Bundesamt 1991)	38
Tab. 9 Altersverteilung in Deutschland nach ausgewählten Bevölkerungsgruppen..	43

Tab. 10 Auffälligkeiten, Umsetzung in der Software und resultierende Maßnahmen	46
Tab. 11 Verhaltensweisen und Problemstellungen bzgl. verschiedener Probandentypen und damit verbundene Anforderungen an den Refraktionierenden	47
Tab. 12 Fragen/ Anweisungen und Antwort-/ Reaktionsmöglichkeiten des Probanden	50
Tab. 13 Hinweise zum Refraktionsablauf	51
Tab. 14: Einteilung der Wertebereiche verschiedener Eigenschaften in Schwierigkeitsstufen	53
Tab. 15 Bezeichnung der Variablen Sphäre, Zylinder und Achse	63
Tab. 16 Bezeichnung der Variablen M, J0 und J45	64
Tab. 17 Bezeichnung der Variablen für den Visus.....	66
Tab. 18 Bezeichnung der Variablen für die Anzahl erkannter Sehzeichen	67
Tab. 19 Bedingungen für die Ausgabe der Probandenantwort	68

11 Anhang

11.1 Sinnbilder und ihre Anwendung (aus DIN 66001)

6 Sinnbilder

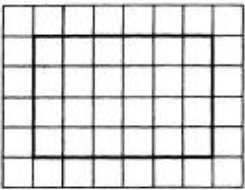
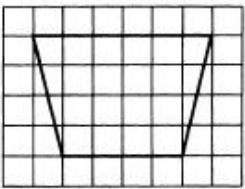
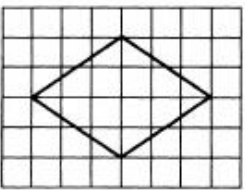
Nr	Sinnbild	Benennung und Bemerkung	PA	DF	PN	DN	PH	DH	KP
6.1 Verarbeitungen/Verarbeitungseinheiten									
6.1.1		Verarbeitung, allgemein (process) (einschließlich Ein-/Ausgabe)	x	x	x	-	x	-	-
		Verarbeitungseinheit, allgemein (processing unit)	-	-	-	-	-	-	x
6.1.2		Manuelle Verarbeitung (manual operation) (einschließlich Ein-/Ausgabe)	x	x	x	-	x	-	-
		Manuelle Verarbeitungsstelle (point of manual operation) (z.B. Fachabteilung, Bediener)	-	-	-	-	-	-	x
6.1.3		Verzweigung ¹⁾ (decision)	x	-	x	-	-	-	-
		Auswahleinheit (selection unit) (z.B. Schalter)	-	-	-	-	-	-	x

Abb. 21 Auszug aus DIN 66001, Seite 3

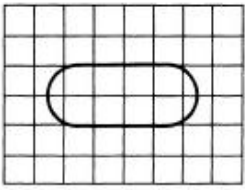
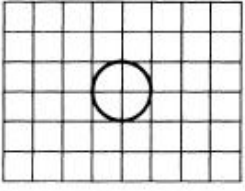
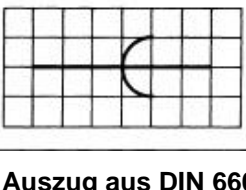
6.4 Darstellungshilfen									
6.4.1		Grenzstelle (zur Umwelt) (terminator) (z.B. Beginn oder Ende einer Folge, Herkunft oder Verbleib von Daten)	x	x	x	x	x	x	x
6.4.2		Verbindungsstelle (connector) Eine Verbindung kann durch eine Verbindungsstelle unterbrochen und an anderer Stelle derselben Darstellung mit einer Verbindungsstelle mit gleicher Innenbeschriftung fortgesetzt werden.	x	x	x	x	x	x	x
6.4.3		Verfeinerung ²⁾ (refinement)	x	x	x	x	x	x	x

Abb. 22 Auszug aus DIN 66001, Seite 6

11.2 Abbildung der Fenster mit Bezeichnung der Elemente

A1		A2		A3		A4		A5		A6	
Proband: Alter 25		Fertig		Optionen		neuer Proband		Hilfe			
Messbrille 				Gläserkasten <input type="radio"/> + <input type="radio"/> - <input type="radio"/> -zyl <input type="radio"/> D1 <input type="radio"/> D2 <input type="radio"/> D3 <input type="radio"/> D4 <input type="radio"/> D5 <input type="radio"/> D6 <input type="radio"/> D7 <input type="radio"/> D8 <input type="radio"/> D9 <input type="radio"/> AXA <input type="radio"/> AIIA <input type="radio"/> ASTiela				Optotypen <input type="radio"/> E <input type="radio"/> C <input type="radio"/> ABC <input type="radio"/> 123 <input type="radio"/> Einzeloptotyp <input type="radio"/> E1 <input type="radio"/> E2 <input type="radio"/> E3 <input type="radio"/> E4 <input type="radio"/> E5 <input type="radio"/> E6 <input type="radio"/> E7			
aktuell 				Visusstufe <input type="text" value="1.25"/>				Autoref <input type="text" value="alte Brillenwerte"/>			
aktuelle Korrektur C1/C2/C3 sph <input type="text" value="0,00"/> zyl <input type="text" value="-0,00"/> A <input type="text" value="0"/>				C4/C5/C6 sph <input type="text" value="-2,50"/> zyl <input type="text" value="-0,50"/> A <input type="text" value="140"/>				Vorinformationen sph <input type="text"/> zyl <input type="text"/> A <input type="text"/> sph <input type="text"/> zyl <input type="text"/> A <input type="text"/>			
Kommunikation Frage/ Anweisung:				Hinweise zum Ablauf:				Kundenantwort:			
G1				G2				G3			

Abb. 23 Fenster 1 mit Bezeichnung der Elemente

Bewertung		H1	
Fehlerprotokoll	in Datei schreiben I1		
Bewertung		H1	
Dauer der Refraktion		J1	
maximale Reaktionszeit		J2	
Fehlerpunkte		J3	

Bestenliste			
	K1	K2	K3
Name	Fehlerpunkte	Dauer d. Refra	maximale Reaktionszeit
K4	K5	K6	K7

Name:

Hinzufügen K8

in Datei schreiben K10

Abb. 24 Fenster 2 mit Bezeichnung der Elemente

Hilfemenü/Schätztabellen

L1

sphärische Gläser (nach Lachenmayr)

Visus	Glasabstufung [dpt]
unter 0,05	2,00
0,05 - 0,2	1,00
0,2 - 0,5	0,50
über 0,5	0,25

Zylindergläser (nach Lachenmayr)

Visus	Glasabstufung [dpt]
0,05 - 0,2	2,00
0,2 - 0,7	1,00
0,7 - 1,0	0,50
über 1,0	0,25

Nebelgläser (nach Lachenmayr)

Visus	Nebelglas [dpt]
0,05 - 0,2	1,50
0,2 - 0,7	1,00
0,7 - 1,0	0,75
über 1,0	0,50

Abb. 25 Fenster 3 mit Bezeichnung der Elemente

Optionen

M1

M2

M3

M4

1

2

3

Schwierigkeitsstufe

M5

ja

nein

M6

monokularer sphärischer Feinabgleich

M7

ja

nein

M8

Abfrage objektiver Vorinformationen

M9

1,0

maximal prüfbarer Visus

Abb. 26 Fenster 4 mit Bezeichnung der Elemente

Einschätzung des Probanden X

N1

Gab es Auffälligkeiten bei der Refraktion?

N2 N3

Wenn ja, welche? N4 ☐ Fehlsichtigkeit über +/- 5 dpt

N5 ☐ starke Refraktionsänderung in kurzer Zeit

N6 ☐ optisch nicht korrigierbares Problem der Augen

N7 ☐ geringer Visus

N8 ☐ Patient über 40 Jahre alt

Welche Maßnahmen sind notwendig? N9 ☐ Berücksichtigen des Hornhautscheitelabstandes

N10 ☐ Empfehlung zu augenärztlicher Untersuchung

N11

Abb. 27 Fenster 5 mit Bezeichnung der Elemente

11.3 Liste aller Oberflächenelemente der Software

Fenster 1: Hauptoberfläche

A) Menü

- A1 Anzeige Probandenalter
- A2 Abfragefenster öffnen
- A3 Optionsfenster öffnen
- A4 Start der Refraktion
- A5 Hilfefenster öffnen
- A6 Programm schließen

B) Messbrille

- B1 Steckplatz für Messgläser rechts
- B2 Steckplatz für Messgläser links
- B3 Ändern der Stapelung der Messgläser rechts (Doppelklick)/
Entfernen des obersten Messglases rechts (Einfachklick)
- B4 Ändern der Stapelung der Messgläser links (Doppelklick)/
Entfernen des obersten Messglases links (Einfachklick)
- B5 Ändern der Zylinderachse rechts
- B6 Ändern der Zylinderachse links
- B7 Vorhaltestelle für Kreuzzylinder rechts
- B8 Vorhaltestelle für Kreuzzylinder links

- B9 Entfernen des Kreuzzylinders rechts
- B10 Entfernen des Kreuzzylinders links
- B11 Wenden des Kreuzzylinders links
- B12 Anzeige oberstes Messglas rechts
mit Anzeige der Stärke/Achse/Symbol
- B13 Anzeige oberstes Messglas links
mit Anzeige der Stärke/Achse/Symbol
- B14 Wenden des Kreuzzylinders rechts

C) aktuelle Korrektur

- C1 Anzeige der Sphäre rechts
- C2 Anzeige der Zylinderstärke rechts
- C3 Anzeige der Zylinderachse rechts
- C4 Anzeige der Sphäre links
- C5 Anzeige der Zylinderstärke links
- C6 Anzeige der Zylinderstärke links

D) Gläserkasten

- D1 Auswahl sphärisches Plusglas
- D2 Auswahl sphärisches Minusglas
- D3 Auswahl Minuszylinder Glas
- D4 Auswahl Kreuzzylinderstärke
- D5 Auswahl Achsenoption Achse kreuzt Achse
- D6 Auswahl Achsenoption Achse auf Achse
- D7 Auswahl Achsenoption Stiel auf Achse
- D8 Auswahl Vollblende
- D9 Auswahl Lochblende

E) Optotypen

- E1 Auswahl Snellen-Haken
- E2 Auswahl Landolt-Ringe
- E3 Auswahl Buchstaben
- E4 Auswahl Ziffern
- E5 Auswahl Strichfigur
- E6 Auswahl Rot-Grün-Test
- E7 Auswahl EinzeLOPTOTYPEN
- E8 Auswahl Visusstufe
- E9 Anzeige aktuelle Optotypen

F) Vorinformationen

- F1 Autorefraktometer-Werte anzeigen
- F2 alte Brillenwerte anzeigen
- F3 Anzeige des Brillenalters
- F4 Anzeige der Sphäre rechts
- F5 Anzeige der Zylinderstärke rechts
- F6 Anzeige der Zylinderachse rechts
- F7 Anzeige der Sphäre links
- F8 Anzeige der Zylinderstärke links
- F9 Anzeige der Zylinderstärke links

G) Kommunikation**G1 Anzeige Fragen und Anweisungen**

- G1-1 Wird der Seheindruck mit dem nächsten Glas schlechter?
- G1-2 Wird der Seheindruck mit dem nächsten Glas besser?
- G1-3 Wird der Seheindruck mit dem nächsten Glas wieder besser?
- G1-4 Wird es mit dem nächsten Glas besser, oder sind die Zeichen nur kleiner und schwärzer?
- G1-5 Ist der Seheindruck mit Glas 1 oder Glas 2 besser, oder ist kein großer Unterschied zu erkennen?
- G1-6 Sehen Sie mit dem nächsten Glas eine Strichgruppe schwärzer als die Anderen?
- G1-7 In welcher Richtung sind die Striche schwärzer?
- G1-8 Werden die schwärzeren Striche mit dem nächsten Glas noch deutlicher?
- G1-9 Haben die schwärzeren Striche mit dem nächsten Glas die gleiche Richtung wie zuvor?
- G1-10 Bitte blicken sie auf das grüne Testfeld und vergleichen Sie das große Zeichen mit dem entsprechenden Zeichen im roten Feld. Blicken Sie dabei nur kurz auf das rote Feld und sofort wieder auf das grüne Feld zurück. Besteht ein deutlicher Unterschied in der schwärze der Sehzeichen?
- G1-11 Bitte lesen Sie, was Sie sehen!
- G1-12 Dem Probanden einen Moment Zeit geben, um sich auf das Glas einzustellen.
- G1-13 Der Seheindruck kann mit dem nächsten Glas schlechter werden. Vergleichen Sie bitte trotzdem die beiden Seheindrücke.

G2 Anzeige Hinweise zum Ablauf

- G2-1 Ich decke Ihr linkes Auge ab!
- G2-2 Ich decke Ihr rechtes Auge ab!
- G2-3 Ich bestimme nun Ihre Sehschärfe!
- G2-4 Ich bestimme nun das beste sphärische Glas!
- G2-5 Ich führe nun die Zylindernebelmethode durch!
- G2-6 Ich führe nun die Kreuzzylindermethode durch!
- G2-7 Ich führe nun den sukzessiven sphärischen Feinabgleich durch!
- G2-8 Ich führe nun den simultanen sphärischen Feinabgleich durch!

G3 Anzeige Probandenantwort

- G3-1 Ja
- G3-2 Nein, besser
- G3-3 Nein
- G3-4 Nein, schlechter
- G3-5 Es wird besser
- G3-6 Es wird schwärzer
- G3-7 Es wird nicht besser
- G3-8 Glas 1 ist besser
- G3-9 Glas 2 ist besser
- G3-10 Alle Striche sind gleich schwarz
- G3-11 Die Zeichen Im roten Feld sind schwärzer
- G3-12 Die Zeichen im grünen Feld sind schwärzer

G3-13	Die Zeichen sind gleich schwarz
G3-14	Ich kann nichts erkennen
G3-15	Der Proband liest P richtige und 5-P falsche Sehzeichen vor
G3-16	Ok
G3-17	Was haben Sie gesagt?
G3-18	Kann ich das andere Glas noch einmal sehen?
G3-19	Ich erkenne keinen Unterschied
G3-20	90 (3 Uhr)
G3-21	60 (2 Uhr)
G3-22	30 (1 Uhr)
G3-23	18 (12 Uhr)
G3-24	15 (11 Uhr)
G3-25	12 (10 Uhr)

Fenster 2: Bewertung

H) Menü

H1 Fenster schließen

I) Fehlerprotokoll

I1 Fehlerprotokoll in Datei ausgeben
I2 Anzeige Fehlerprotokoll

J) Bewertung

J1 Anzeige Dauer der Refraktion
J2 Anzeige Durchschnittliche Reaktionszeit
J3 Anzeige maximale Reaktionszeit
J4 Anzeige Fehlerpunkte

K) Bestenliste

K1 Sortieren nach Fehlerpunkten
K2 Sortieren nach Dauer der Refraktion
K3 Sortieren nach maximaler Reaktionszeit
K4 Anzeige Namensliste
K5 Anzeige Fehlerpunkte
K6 Anzeige Dauer der Refraktion
K7 Anzeige maximale Reaktionszeit
K8 Eingabefeld für Name
K9 Hinzufügen zur Bestenliste
K10 Bestenliste in Datei ausgeben

Fenster 3: Hilfemenü

L) Menü

L1 Fenster schließen

Fenster 4: Optionen

M1 Fenster schließen
M2 Wahl der Schwierigkeitsstufe 1
M3 Wahl der Schwierigkeitsstufe 2
M4 Wahl der Schwierigkeitsstufe 3

- M5 Wahl monokularer sphärischer Feinabgleich
- M6 Wahl kein monokularer sphärischer Feinabgleich
- M7 Wahl der Abfrage objektiver Vorinformationen
- M8 Wahl keine Abfrage objektiver Vorinformationen
- M9 Einstellung des maximal prüfbaren Visus

Fenster 5: Einschätzung des Probanden

- N1 Fenster schließen
- N2 Wahl Auffälligkeiten bei der Refraktion
- N3 Wahl keine Auffälligkeiten bei der Refraktion
- N4 Wahl Fehlsichtigkeit über +/- 5 dpt
- N5 Wahl starke Refraktionsänderung in kurzer Zeit
- N6 Wahl optisch nicht korrigierbares Problem der Augen
- N7 Wahl geringer Visus
- N8 Wahl Proband über 40 Jahre alt
- N9 Wahl Berücksichtigung des Hornhautscheitelabstandes
- N10 Wahl Empfehlung zu augenärztlicher Untersuchung
- N11 Fenster zur Bewertung öffnen

11.4 Flussdiagramme zum Programmablauf

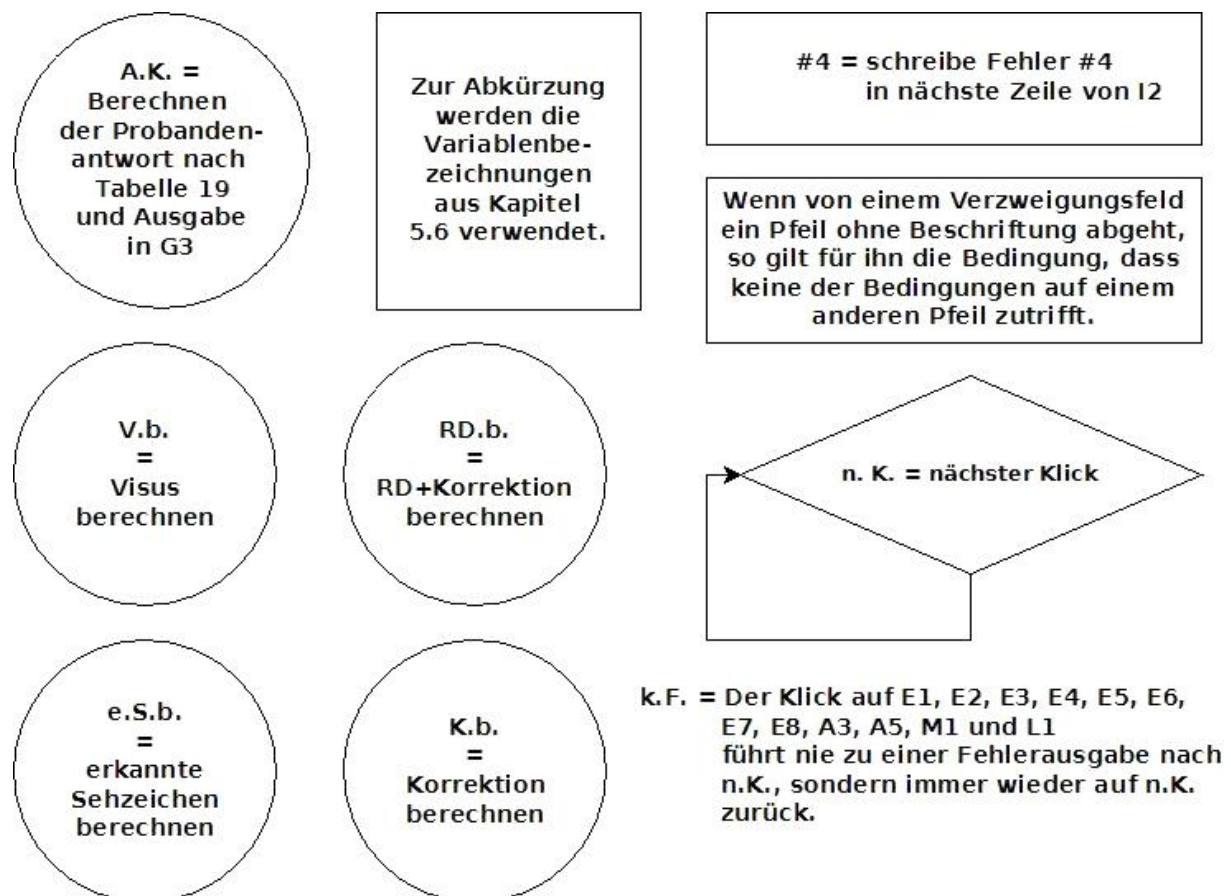
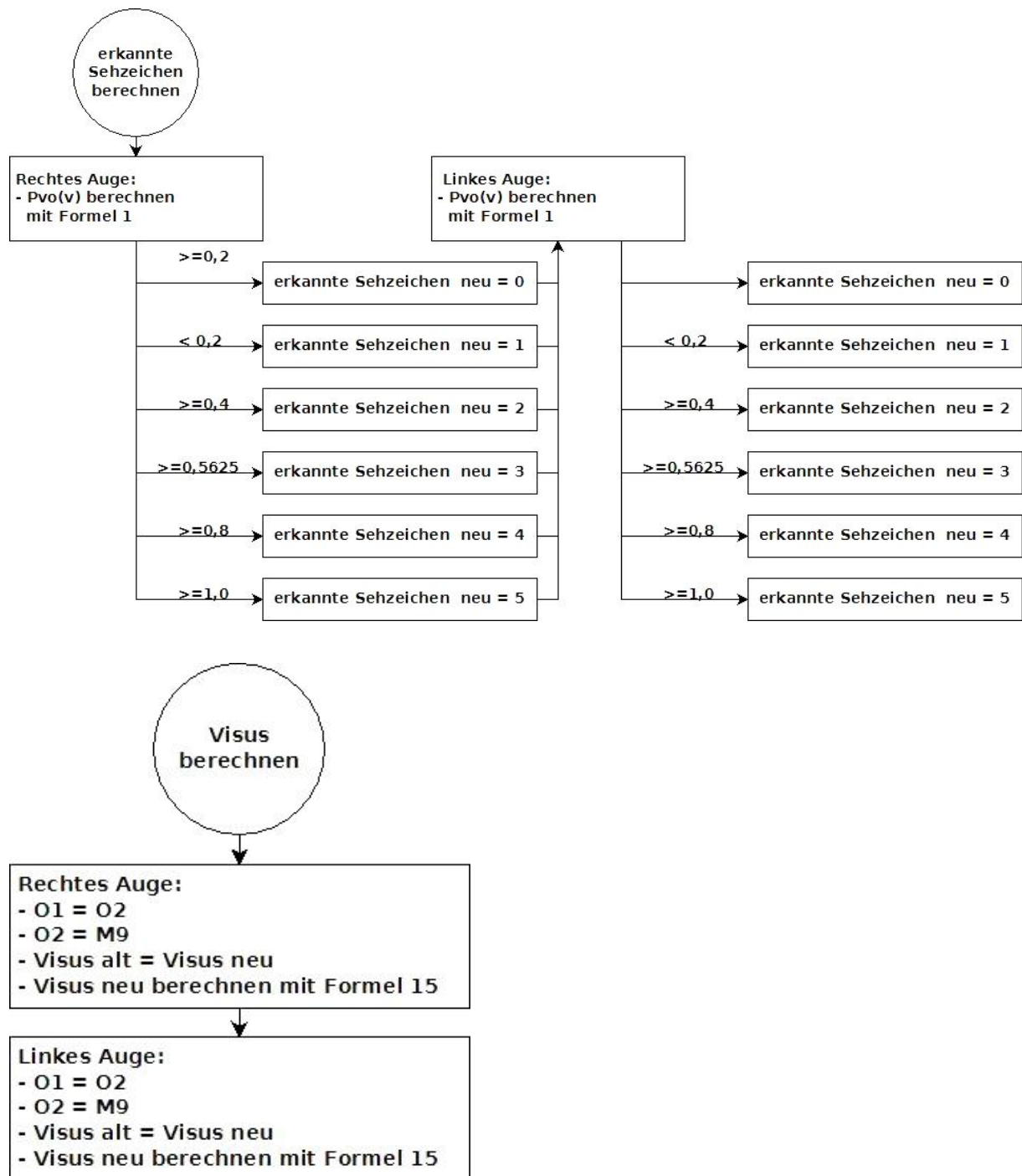


Abb. 28 Legende zu den selbst erstellten Diagrammen



**Rechtes Auge:**

- Umrechnen Glas 1 in M, J0 und J45 (Formeln 8,9,10)
- Umrechnen Glas 2 in M, J0 und J45 (Formeln 8,9,10)
- Umrechnen Glas 3 in M, J0 und J45 (Formeln 8,9,10)
- Umrechnen Glas 4 in M, J0 und J45 (Formeln 8,9,10)
- Umrechnen Glas 5 in M, J0 und J45 (Formeln 8,9,10)
- Addieren der einzelnen Variablen M, J0 und J45 von Glas1, Glas2, Glas3, Glas4, Glas5 ergibt die Variablen M, J0 und J45 für Korrektur neu
- Korrektur neu umrechnen in Sphäre, Zylinder und Achse (Formeln 11,12,13)

Linkes Auge:

- Umrechnen Glas 1 in M, J0 und J45 (Formeln 8,9,10)
- Umrechnen Glas 2 in M, J0 und J45 (Formeln 8,9,10)
- Umrechnen Glas 3 in M, J0 und J45 (Formeln 8,9,10)
- Umrechnen Glas 4 in M, J0 und J45 (Formeln 8,9,10)
- Umrechnen Glas 5 in M, J0 und J45 (Formeln 8,9,10)
- Addieren der einzelnen Variablen M, J0 und J45 von Glas1, Glas2, Glas3, Glas4, Glas5 ergibt die Variablen M, J0 und J45 für Korrektur neu
- Korrektur neu umrechnen in Sphäre, Zylinder und Achse (Formeln 11,12,13)

**Rechtes Auge:**

- RD+Korrektion alt = RD+Korrektion neu
- Umrechnen Glas 1 in M, J0 und J45
- Umrechnen Glas 2 in M, J0 und J45
- Umrechnen Glas 3 in M, J0 und J45
- Umrechnen Glas 4 in M, J0 und J45
- Umrechnen Glas 5 in M, J0 und J45
- Umrechnen KrZyl in M, J0 und J45
- Umrechnen Akkommodation in M, J0 und J45
- Umrechnen RD in M, J0 und J45
- Addieren der einzelnen Variablen M, J0 und J45 von Glas1, Glas2, Glas3, Glas4, Glas5, KrZyl, Akkommodation und RD ergibt die Variablen M, J0 und J45 für RD+Korrektion neu
- RD-Korrektion neu umrechnen in Sphäre, Zylinder und Achse

Linkes Auge:

- RD+Korrektion alt = RD+Korrektion neu
- Umrechnen Glas 1 in M, J0 und J45
- Umrechnen Glas 2 in M, J0 und J45
- Umrechnen Glas 3 in M, J0 und J45
- Umrechnen Glas 4 in M, J0 und J45
- Umrechnen Glas 5 in M, J0 und J45
- Umrechnen KrZyl in M, J0 und J45
- Umrechnen Akkommodation in M, J0 und J45
- Umrechnen RD in M, J0 und J45
- Addieren der einzelnen Variablen M, J0 und J45 von Glas1, Glas2, Glas3, Glas4, Glas5, KrZyl, Akkommodation und RD ergibt die Variablen M, J0 und J45 für RD+Korrektion neu
- RD-Korrektion neu umrechnen in Sphäre, Zylinder und Achse

